

CAPÍTULO 15

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO VISANDO A SUSTENTABILIDADE DA REPRESA DE ITUPARARANGA, IMPORTANTE ÁREA DA BACIA DO MÉDIO TIETÊ

André Henrique Rosa, Ângelo Augusto Melo Juste Silva, Camila de Almeida Melo, Viviane Moschini-Carlos, Manuel Enrique Gamero Guandique, Leonardo Fernandes Fraceto & Roberto Wagner Lourenço

Grupo de Estudos Ambientais – UNESP, Av. 3 de março, 511, CEP 18087-180, Sorocaba-SP.
E-mail: ahrosa@sorocaba.unesp.br

RESUMO

A represa de Itupararanga constitui uma importante área de abastecimento de água para cerca de 800 mil habitantes. A compreensão dos mecanismos de funcionamento desta área em seus aspectos hidrogeoquímicos é fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos. O diagnóstico ambiental é uma ferramenta de avaliação da qualidade que proporciona esta compreensão. O objetivo deste capítulo foi realizar um diagnóstico ambiental integrado na represa de Itupararanga. Para isto foi feita a avaliação biológica e físico-química das águas em seu gradiente espacial e temporal, a partir de análises de nutrientes, substâncias tóxicas, determinação de metais totais e medidas da biomassa do fitoplâncton. Também foi feito o estudo da distribuição de metais totais e biodisponíveis em sedimentos. A modelagem hidrológica foi de forma a descrever o comportamento hidrológico da represa. Segundo o Índice de Qualidade da Água o reservatório de Itupararanga encontra-se em bom estado de conservação para fins de abastecimento público, enquanto que o Índice de Proteção para Vida Aquática demonstrou uma piora na qualidade da água de jul/07 até jul/08, embora tenha ocorrido uma melhora no Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática, enquanto que o Índice de Estado Trófico mostrou um aumento de trofia das águas do reservatório. Pode-se concluir que a variação sazonal e espacial permitiu conhecer a dinâmica de substâncias que são aportadas nas águas e no sedimento da represa de Itupararanga.

1 INTRODUÇÃO

O ambiente em que vivemos como um todo vem sofrendo alterações relativamente rápidas, devido principalmente ao crescimento populacional e agro-industrial, e provocando muitas vezes, mudanças irreversíveis nas suas condições naturais. Assim, os recursos hídricos, em particular, têm sofrido alterações tanto qualitativas como quantitativas, através dos processos de poluição provocados pela degradação de áreas naturais, pela contaminação urbana e industrial, assim como pelo aumento acelerado no consumo de água.

A compreensão dos mecanismos de funcionamento de uma bacia de drenagem em seus aspectos hidrogequímicos é fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos (OSTENDORF et al., 1997). Neste sentido, a água assume papel imprescindível, sendo o principal elemento de ligação entre as partes que compõem o sistema (ar-água-sedimento-solo), desde a sua entrada (precipitação pluvial) até o escoamento nos canais de drenagem (deflúvio). Como resultado, as alterações que ocorrem num ecossistema qualquer estão influenciadas por todos os processos envolvidos no ciclo hidrológico, provocando alterações no transporte de poluentes, lixiviação e transporte de elementos para o curso d'água, e também, alterações geradas pelo processo de erosão, provocando a sedimentação e o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, comprometendo os recursos hídricos disponíveis nesse ecossistema (VAN HERPE et al., 1998).

O diagnóstico ambiental de uma área é uma importante ferramenta de avaliação da qualidade de determinado ambiente. Com ele é possível entender os processos que estão envolvidos no ambiente e, uma vez que estas informações são conhecidas, a tomada de decisões para recuperação e manutenção da vida do ambiente fica facilitada.

O objetivo fundamental apresentado neste capítulo foi realizar um diagnóstico ambiental integrado na represa de Itupararanga, para ser utilizado no gerenciamento ambiental adequado da área e direcionamento das atividades/expansão urbana, bem como, na indicação de soluções para possíveis problemas ambientais, decorrentes do uso e ocupação do solo e das atividades antrópicas. Para atingir este objetivo principal foi feita uma avaliação biológica e físico-química da água da represa de Itupararanga em seu gradiente espacial e temporal, utilizando-se para isso análises de nutrientes, substâncias tóxicas, determinação de metais totais e solúveis e medidas da biomassa do fitoplâncton, a partir da análise da concentração de clorofila-a. Também foi feito um estudo da distribuição de metais totais e potencialmente (bio-) disponíveis em sedimentos coletados no reservatório. A partir dos dados obtidos, um banco de dados geográfico e cartográfico digital, bem como a modelagem hidrológica da área estudada, foi feita de forma a descrever o comportamento hidrológico da bacia através dos processos do ciclo hidrológico que regulam os fluxos da água, erosão e transporte dos sedimentos do sistema.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Itupararanga é formado por uma barragem que represa as águas do rio Sorocaba no município de Votorantim, construída em 1911 pela empresa LIGHT para gerar energia elétrica. Possui uma área de drenagem de 936,51 km², com 26 km de canal principal e 192,88 km de margens, ocupando parcialmente os municípios de Ibiúna, Piedade, São Roque, Mairinque, Alumínio e Votorantim. O reservatório é responsável por 63 % da água destinada para o abastecimento de cerca de 800.000 pessoas de várias cidades, entre elas Mairinque, Alumínio, Piedade, Votorantim e Sorocaba, após as águas receberem o tratamento convencional.

Atualmente, a represa está compreendida na Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga. A APA foi criada pela Lei Estadual nº 10.100/1998 por uma demanda do Comitê da Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê, para assegurar a manutenção da qualidade das águas do manancial da represa. Porém, a APA de Itupararanga somente foi efetivamente regulamentada no ano de 2003, através da Lei Estadual nº 11.579/2003. Essa demora na regulamentação trouxe como consequência, o crescimento sem planejamento no entorno da represa, prejudicando o gerenciamento de suas águas (SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio

Ambiente, 2007). Dessa forma, a APA apresenta em sua margem direita considerável faixa de área natural, sendo uma região contínua importante de remanescente florestal, mas, por outro lado à ocupação desordenada fez com que a mata ciliar da margem esquerda fosse substituída por culturas de hortaliças, oleícolas, pastagens, condomínios, chácaras e casas de veraneio, que contribuem para a entrada de nutrientes e substâncias tóxicas no reservatório, podendo tornar as condições limnológicas instáveis (SMITH et al., 2005).

A escolha dos pontos de amostragem foi feita considerando-se as características de uso e ocupação das margens, bem como de forma a avaliar a influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água do reservatório. Na Figura 1 está apresentado um mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba com destaque para a localização da represa de Itupararanga. Sete pontos de coletas foram selecionados ao longo da represa de Itupararanga e as características e coordenadas geográficas de cada um deles estão discriminadas na Tabela 1.

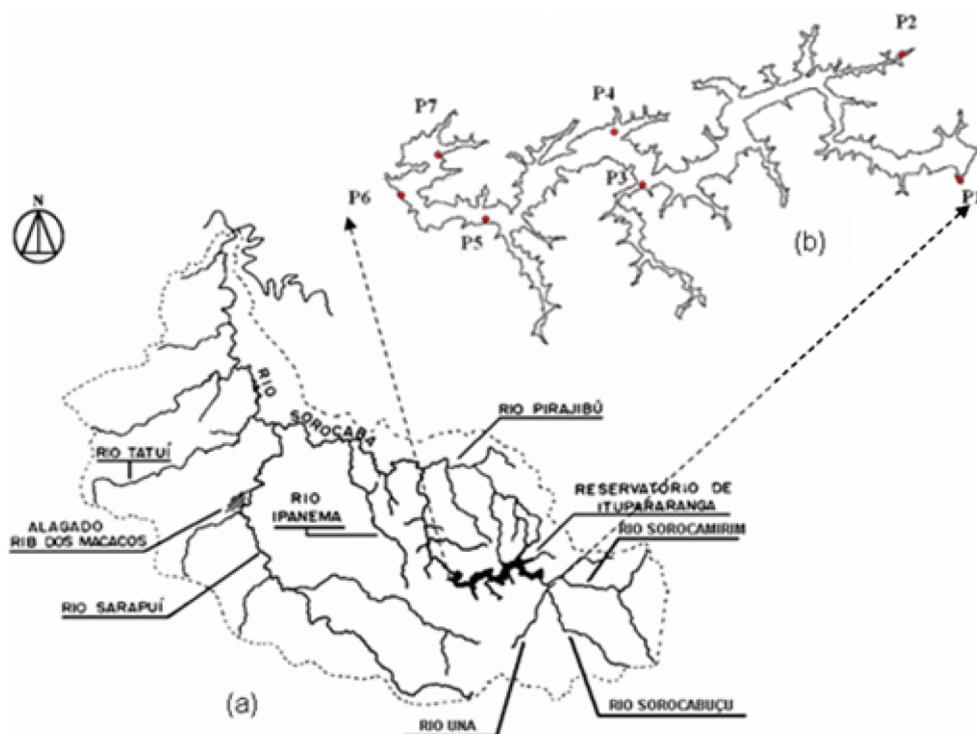


Figura 1: (a) Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba (SMITH et al., 2005, modificada) e (b) Represa de Itupararanga com destaque dos pontos de coleta.

As amostras de águas foram coletadas em julho e novembro de 2007 e em abril e julho de 2008 à profundidade de 0 a 1,0 metro da superfície da água utilizando-se garrafas plásticas de polietileno tereftalato previamente purificadas em laboratório. Após a coleta, as amostras foram mantidas sob refrigeração a aproximadamente 4 °C e todas as análises foram efetuadas em até 24 horas após a amostragem.

As amostras de sedimento foram coletadas nos mesmos pontos onde foram coletadas as amostras de água, utilizando-se draga apropriada. As amostras foram preservadas sob congelamento até o momento das análises.

2 MEIO AQUÁTICO E POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A água é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, cobrindo aproximadamente 70 % da superfície sob várias formas, principalmente no estado líquido. Por meio do ciclo hidrológico, constitui um recurso natural renovável e sua disponibilidade é um dos fatores mais importantes a moldar os ecossistemas. É fundamental que os recursos hídricos apresentem

condições físicas e químicas adequadas para sua utilização pelos organismos, contendo substâncias essenciais à vida e estando isentos de outras substâncias que possam produzir efeitos nocivos (BRAGA et al., 2005).

Tabela 1: Localização geográfica dos pontos de coleta ao longo da Represa de Itupararanga

Pontos de coleta	Coordenadas UTM	Características
P ₁	272405 E - 7385425 N	Cabeceira dos rios Sorocamirim e Sorocabuçu
P ₂	270728 E - 7389390 N	Cabeceira do rio Una
P ₃	262721 E - 7385604 N	Após condomínio residencial
P ₄	261745 E - 7387038 N	Após cursos d'água vindos do bairro Carafá e pastagem
P ₅	257614 E - 7384245 N	Após Cinturão verde e condomínio residencial
P ₆	255252 E - 7384972 N	Em frente ao clube da ACM
P ₇	256418 E - 7386293 N	Próximo à barragem (mata/pastagem)

A poluição das águas é a alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo homem, tendo seus efeitos resultantes dependentes da natureza do poluente introduzido, do caminho percorrido no meio e do uso feito do corpo d'água.

O comprometimento da qualidade da água doce em mananciais é decorrente em sua maioria pela poluição causada por efluentes domésticos e industriais e deflúvio superficial urbano e agrícola. Os efluentes domésticos são constituídos basicamente por poluentes orgânicos, nutrientes e micro-organismos, que podem ser patogênicos. A contaminação por efluentes industriais é decorrente das matérias-primas e dos processos industriais utilizados, podendo ser complexa, devido à natureza, concentração e volume dos resíduos produzidos. Já os poluentes resultantes do deflúvio superficial agrícola são os principais responsáveis pela introdução de nutrientes no ambiente aquático, além de sedimentos, agroquímicos e dejetos de animais (MERTEN; MINELLA, 2002).

No entorno da represa de Itupararanga é possível encontrar diferentes fontes de poluição, seja por meio das descargas de efluentes domésticos dos habitantes que vivem em cidades próximas, seja devido ao deflúvio superficial agrícola das plantações ao redor ou mesmo devido às outras atividades antrópicas que circundam a represa.

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos possibilitam caracterizar as condições de qualidade dos corpos aquáticos e fornecem, desta maneira, informações para inferir a poluição das águas e, principalmente, para auxiliar na tomada de decisões visando sempre a boa qualidade e manutenção da vida aquática.

Na Figura 2 estão apresentados os resultados obtidos dos parâmetros medidos *in situ*: temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. A partir destes parâmetros já é possível um primeiro diagnóstico das condições das águas da represa de Itupararanga em função da sazonalidade para os diferentes pontos amostrados.

A temperatura da água variou em função do período de amostragem, sendo que no mês de jul/07 foram observadas as menores temperaturas e no mês de nov/07 as maiores temperaturas. Em julho tem-se o período de inverno para esta região e em novembro o período de verão, justificando assim as temperaturas observadas. As variações de temperaturas entres os diferentes pontos de coletas foram muito pequenas.

A legislação brasileira que estabelece valores ideais de cada parâmetro físico-químico para os corpos aquáticos é a Resolução CONAMA n° 357/05. Esta estipula que valores de pH para a manutenção da vida aquática estejam em torno de 6 a 9. De acordo com a Figura 2 é possível verificar que os valores de pH para os pontos de amostragem na represa de Itupararanga em função da sazonalidade estiveram dentro da faixa ideal de pH.

Os valores de oxigênio dissolvido na maioria dos pontos foram superiores a 5 mg L⁻¹ (Figura 2), estando dentro do limite estabelecido pelo CONAMA n° 357/05. Apenas o P₂ em nov/07 (4,22 mg L⁻¹) e o P₁ em jul/08 (4,64 mg L⁻¹) apresentaram valor abaixo do limite estabelecido. O valor

mais elevado foi de $9,12 \text{ mg L}^{-1}$, observado no P₃ da coleta de jul/08. É possível observar em todas as coletas que o P₁ apresentou valores inferiores aos demais pontos, isso provavelmente por receber águas contendo dejetos provenientes da cidade de Ibiúna através dos rios Sorocamirim, Sorocabaçu e Una. Cabe ressaltar que, os menores valores de oxigênio dissolvido foram observados nos meses de nov/07 e abr/08, e que nestes mesmos meses, as temperaturas medidas foram mais elevadas, mostrando a forte dependência do oxigênio dissolvido em função da temperatura.

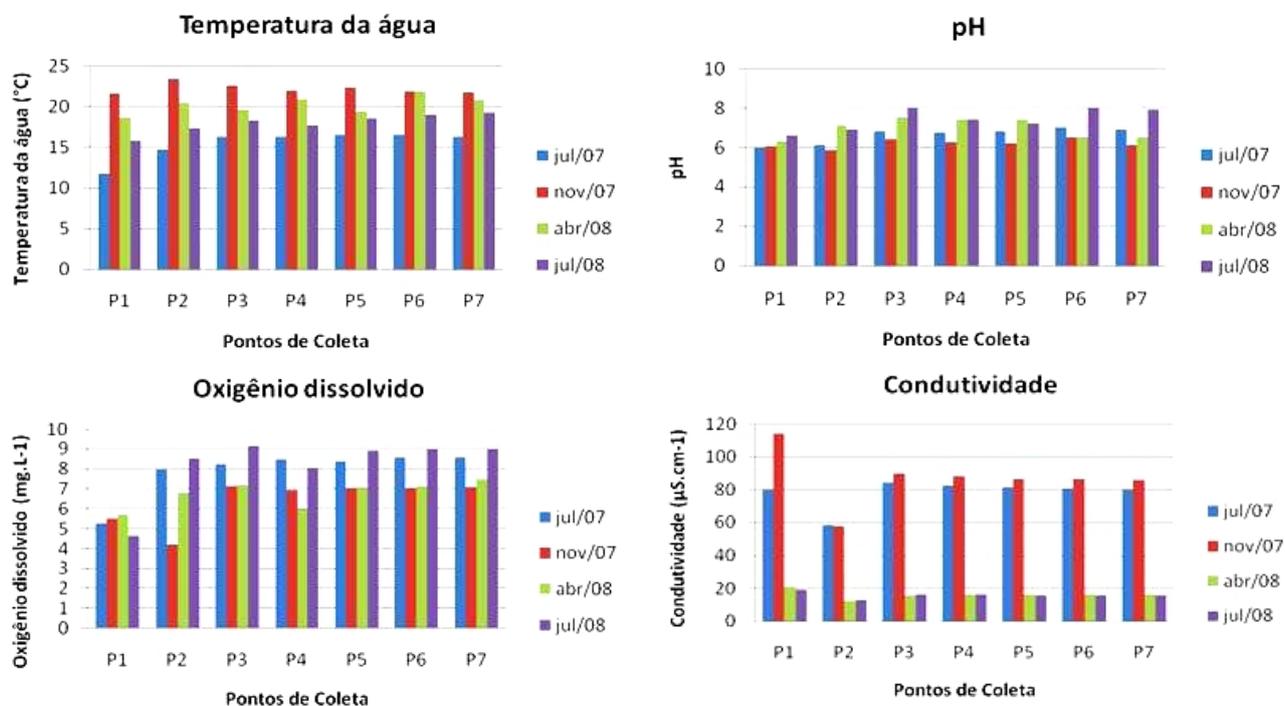


Figura 2: Valores da temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica nos diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

Com relação à condutividade elétrica (Figura 2), a área de estudo pode ser diagnosticada como pouco impactada, pois a maioria dos pontos analisados apresentou valores abaixo de $100 \mu\text{S cm}^{-1}$, limite indicador de ambientes impactados. Exceto para P₁ na coleta realizada em nov/07 foi observado valor de $113,6 \mu\text{S cm}^{-1}$, provavelmente devido a uma maior carga de dejetos recebida. É possível observar também que nas coletas realizadas em abr/08 e jul/08 ocorreu uma diminuição bastante significativa da condutividade elétrica, com resultados não ultrapassando $21 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Na Figura 3 os comportamentos obtidos de cor aparente, turbidez e cor verdadeira estão ilustrados. Estes parâmetros são importantes do ponto de vista da incidência de radiação solar. A luz solar é fundamental no processo de fotossíntese e, portanto, qualquer alteração na sua incidência causa efeitos negativos para o ambiente aquático.

Observa-se que para os pontos P₁ e P₂ os valores de cor aparente, verdadeira e turbidez foram maiores que para os demais pontos (Figura 3). A Resolução CONAMA n° 357/05 preconiza um valor limite de 100 NTU de turbidez e 75 Pt L⁻¹ de cor verdadeira. Os valores de turbidez estiveram abaixo do valor legislado e apenas dois eventos em nov/07 nos pontos P₁ e P₂ apresentaram valor acima do legislado para a cor verdadeira. Isso provavelmente deve-se aos pontos terem pouca profundidade e maior quantidade de entrada de dejetos, já que são locais de abastecimento da represa por corpos d'água vindos das cidades próximas, onde há disposição de esgoto sem tratamento, ou mesmo, por ser uma região onde há movimentação de água, assim revolvendo o fundo e suspendendo os sedimentos presentes.

Os valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) e de demanda química de oxigênio (DQO) observadas para os diferentes pontos de amostragem da represa de Itupararanga em função da sazonalidade estão apresentados na Figura 4. A quantificação da demanda bioquímica de

oxigênio por 5 dias a 20°C pode ser entendida como um indicador da quantidade de oxigênio que é consumida pelos microorganismos existentes no corpo d'água, cuja finalidade é degradar a matéria orgânica presente nos efluentes domésticos e industriais e originados pela lixiviação da bacia hidrográfica (ROCHA et al., 2004). Já a demanda química de oxigênio (DQO) também representa a quantidade de oxigênio necessária para degradar a matéria orgânica, porém aquele consumido por cargas orgânicas e substâncias químicas, como os detergentes, passíveis de serem consumidos em oxidação química (ROCHA et al., 2004).

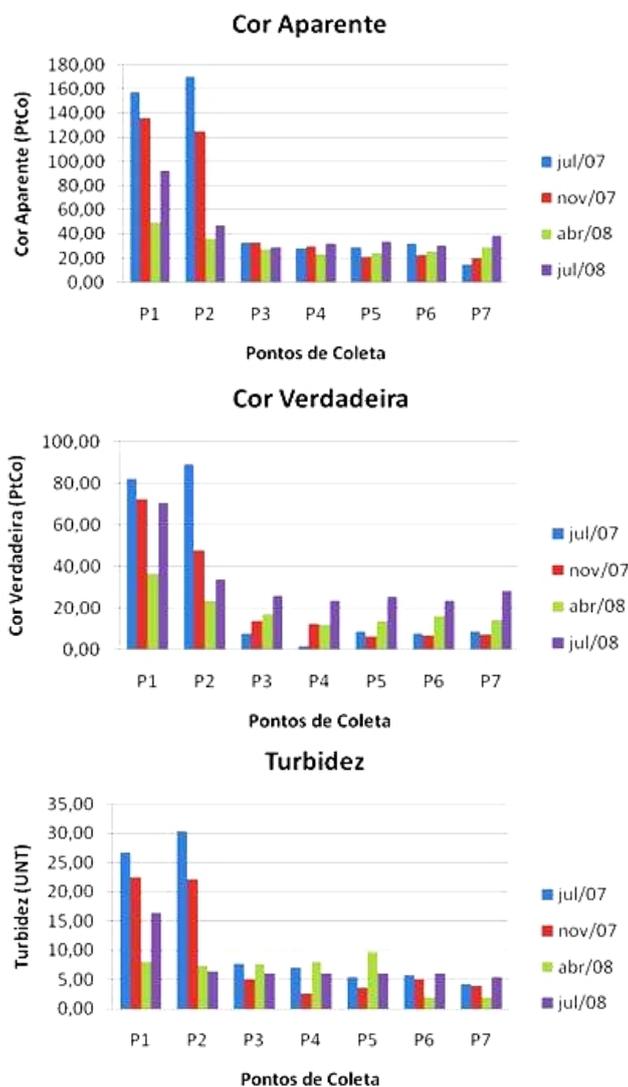


Figura 3: Valores de cor aparente, cor verdadeira e turbidez obtidos nos diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

É possível observar na Figura 4 uma amplitude de variação nos valores de $DBO_{5,20}$, sendo o valor mínimo de $0,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$ em abr/08 no P₃ e o máximo de $4,2 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$ em jul/08 no P₂, indicando que os diferentes usos do solo das margens, bem como os efeitos da sazonalidade influenciam significativamente nessa característica da água. A DQO apresentou maior valor no ponto P₂ em jul/08 ($20,0 \text{ mg L}^{-1}$), indicando presença de grande quantidade de matéria orgânica oxidável, corroborando os dados de $DBO_{5,20}$.

A presença de compostos nitrogenados e fosfatados em excesso são fortes indicadores de poluição devido à descarga de efluentes domésticos. O nitrogênio é lançado como nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal devido à presença de proteínas e à hidrólise sofrida pela uréia, respectivamente. Em águas naturais, o nitrogênio pode ocorrer em formas inorgânicas e orgânicas. Existem muitas formas que podem estar presentes, as quais se diferenciam pelo grau de oxidação do

átomo de nitrogênio. As formas mais reduzidas são a amônia, NH_3 , e seu ácido conjugado, o íon amônio, NH_4^+ , e a forma mais oxidada é o íon nitrato, NO_3^- . Em solução, as formas mais importantes entre esses extremos são o íon nitrito, NO_2^- , e o nitrogênio molecular, N_2 . Na Figura 5 estão apresentadas as concentrações de nitrito, nitrato e nitrogênio total determinados nos diferentes pontos de amostragem ao longo da represa de Itupararanga em função da sazonalidade.

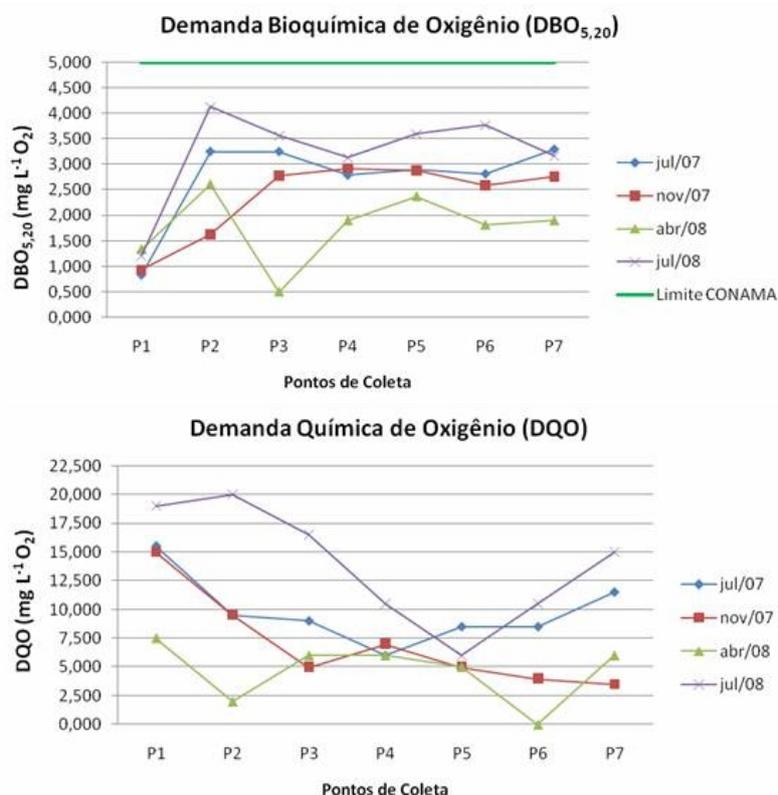


Figura 4: Valores DBO_{5,20} e DQO obtidos nos diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

De acordo com os gráficos da Figura 5, e, observando à distribuição espacial dos compostos nitrogenados, percebe-se que as concentrações são mais elevadas nos pontos P₁ e P₂, provavelmente por serem locais onde ocorre o abastecimento da represa pelos rios Sorocamirim, Sorocabuçu e Una e Ribeirão do Setúbal, os quais são carregadores dos efluentes das cidades de Ibiúna e Mairinque, apresentando assim uma carga maior de despejos, principalmente esgoto doméstico. Os demais pontos, seguindo em direção à barragem, apresentam concentrações mais baixas, provavelmente pela deposição no sedimento e metabolização/oxidação das espécies. Nestes pontos as concentrações possuem valores muito próximos entre si, o que indica que o uso e ocupação das margens não influenciaram na presença destes compostos no manancial.

Em águas naturais o fósforo está presente predominantemente, como vários produtos de dissociação do ácido fosfórico (H_3PO_4). Nos efluentes domésticos, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Dos nutrientes carreados ou despejados nos corpos d'água, o fósforo é considerado como o mais limitante; comparado ao nitrogênio, pois sua demanda em relação ao suprimento é muito maior (SOUZA et al., 2007). Dessa forma, o fósforo presente em concentrações muito elevadas em corpos d'água pode estimular o crescimento de micro e macroorganismos fotossintetizadores, chegando a desencadear o crescimento de florações indesejáveis e oportunistas, resultando no que é chamado de *eutrofização*. Na Figura 6 é possível observar as concentrações de fosfato e fósforo total determinadas nos pontos de coleta variando a sazonalidade. Os pontos 1 e 2 apresentaram valores elevados de fósforo total por receberem água diretamente de cursos d'água

vindos das cidades próximas, contendo várias fontes do elemento, como matéria orgânica e detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente. Os demais pontos apresentaram valores mais baixos, exceto na coleta de jul/08, na qual os pontos 4, 5 e 6 apresentaram valores bastante elevados 0,27, 0,27 e 0,26 mg L⁻¹, respectivamente. É importante que sejam determinadas as principais fontes de fósforo de forma a reduzir a introdução desse elemento nas águas da represa, pois o excesso de fósforo colabora com o processo de eutrofização no reservatório.

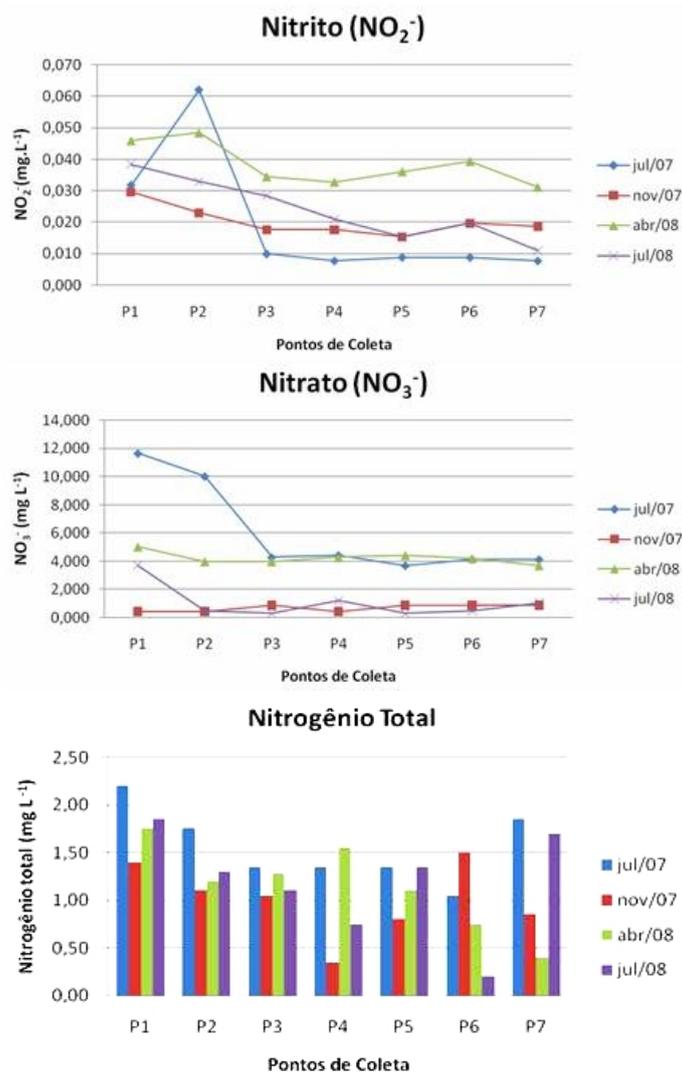


Figura 5: Concentração de nitrito, nitrato e nitrogênio total para os diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

Na Figura 7 é possível observar os valores obtidos de sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos. Nota-se que a concentração máxima de sólidos dissolvidos foi de 83,11 mg L⁻¹ no P₁ da coleta de nov/07, valor inferior ao limite máximo de 500 mg L⁻¹ estabelecido pela legislação. Pode-se observar também que os pontos que apresentaram maiores índices de sólidos suspensos foram os pontos 1 e 2, por se localizarem em regiões onde há encontro de águas entre o reservatório estudado e seus afluentes. A presença de sólidos pode causar danos aos peixes e à vida aquática. Isto ocorre na medida em que os sólidos se sedimentam no leito dos rios, destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificando os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia (CETESB, 2008). No entanto, as concentrações de sólidos dissolvidos e suspensos encontradas no reservatório de

Itupararanga não são consideradas suficientes para que tais parâmetros sejam considerados problemáticos à qualidade da água.

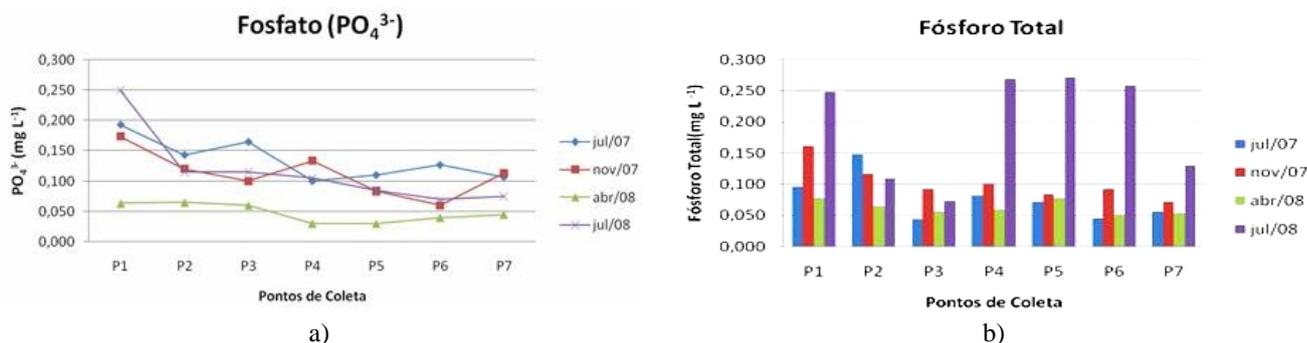


Figura 6: Concentração de fosfato (a) e fósforo total (b) para os diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

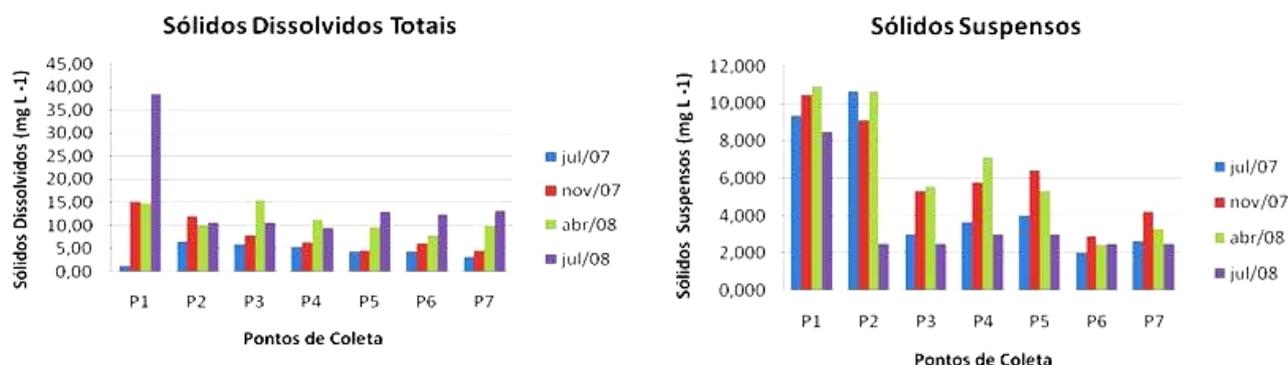


Figura 7: Concentração de sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos para os diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

Na Figura 8 estão apresentados os padrões obtidos para a concentração de sulfato, alcalinidade, surfactantes e clorofila-a. De maneira geral, observa-se que nos pontos 1 e 2 as concentrações se sobressaem aos demais pontos de amostragem para todos os parâmetros avaliados. A concentrações de sulfato, apesar de maior para P₁ e P₂, encontram-se dentro dos valores permitidos na resolução CONAMA n° 357/05. As concentrações de surfactantes (substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno) foram máxima de 0,027 mg L⁻¹ no P₂ na coleta de jul/08 e mínima de 0,001 mg L⁻¹ no P₅ da coleta de abr/08, estando abaixo do valor legislado de 0,500 mg L⁻¹. As concentrações de clorofila-a mostram que as características da água que vem dos municípios de Ibiúna e Mairinque e chegam à cabeceira do reservatório melhoram sua qualidade ao longo da represa em virtude do processo de autodepuração.

As concentrações de coliformes fecais nas amostras de água são apresentadas na Tabela 2. Observando os valores de coliformes fecais para as quatro amostragens realizadas, percebe-se que apenas no P₂ da coleta de abr/08 foi observado um valor elevado de tais microorganismos. Apesar disso, todos os pontos apresentaram concentração abaixo do limite máximo de 1000 coliformes por 100 mililitros estabelecido pelo CONAMA n° 357/05. Ainda, com base na resolução CONAMA n° 274/2000, pode-se dizer que a água do reservatório é própria para recreação de contato primário, sendo classificada como *muito boa* no período de análise, devido apresentar no máximo 500 coliformes por mililitro. Observando as concentrações de fenóis da Tabela 2, percebe-se que a maioria das amostras apresentou valores acima do permitido, mas não é possível obter uma relação entre as coletas; dessa forma pode-se concluir que a variação não segue uma tendência sazonal. Além disso, diferente de outros parâmetros, para fenóis não foi possível perceber concentrações maiores nos pontos P₁ e P₂. A concentração máxima observada foi de 0,011 mg L⁻¹ no P₇ das

coletas de nov/07 e de abr/08. É possível perceber que nas quatro coletas a maior concentração sempre foi observada no P₇, localizado próximo à barragem, o que pode indicar que os fenóis lançados no reservatório se acumulam nessa região.

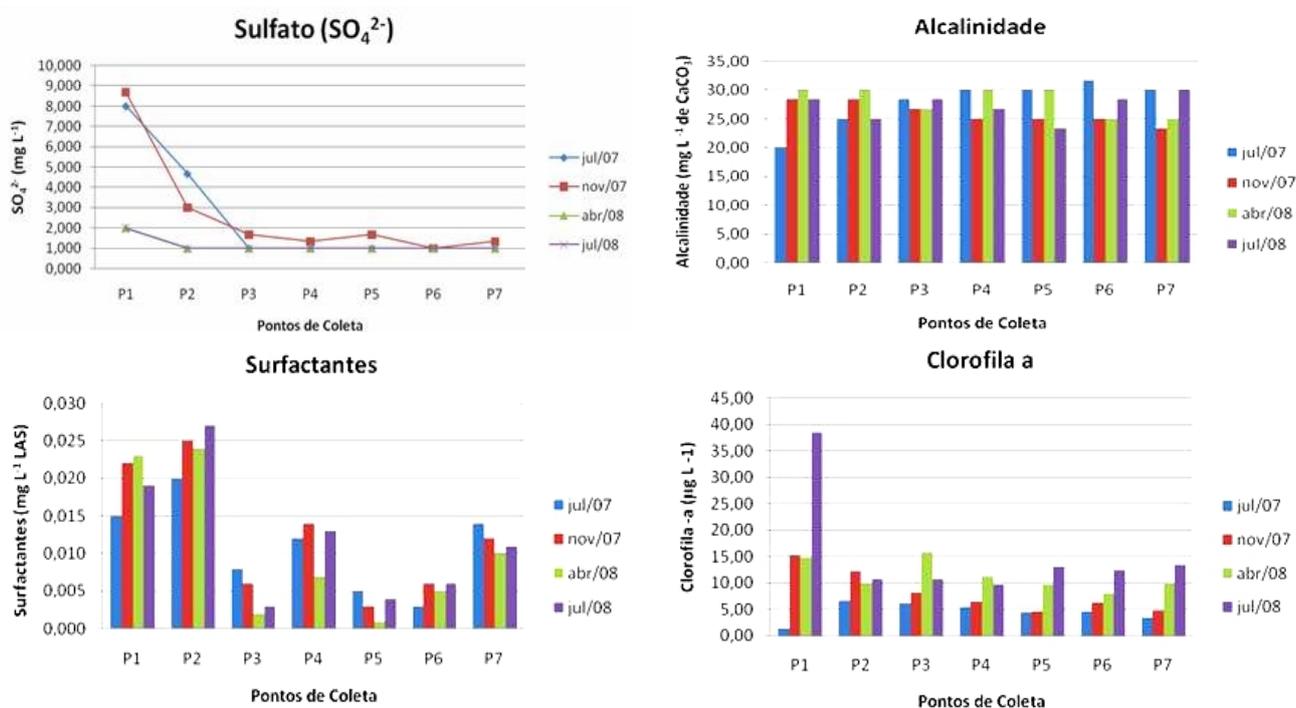


Figura 8: Concentração de sulfato, alcalinidade, surfactantes e clorofila a para os diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

Tabela 2: Coliformes fecais e teor de fenóis das amostras de água nos diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais

Pontos de Coleta	Coliformes fecais (UFC/100 mL)				Fenóis (mg L ⁻¹)			
	jul/07	nov/07	abr/08	jul/08	jul/07	nov/07	abr/08	jul/08
P ₁	61,0	7,0	4,0	11,0	0,003	0,007	0,006	0,005
P ₂	0,0	50,0	500,0	27,0	0,005	0,006	0,005	0,007
P ₃	0,0	4,0	4,0	4,0	0,002	0,000	0,000	0,002
P ₄	0,0	2,0	0,0	0,0	0,007	0,000	0,009	0,003
P ₅	0,0	4,0	8,0	2,0	0,004	0,003	0,005	0,002
P ₆	0,0	4,0	0,0	2,0	0,007	0,000	0,007	0,000
P ₇	23,0	8,0	0,0	0,0	0,009	0,011	0,011	0,009

As concentrações dos metais na água determinadas nos sete pontos de amostragem estão plotadas nos gráficos apresentados na Figura 9. Para os metais mercúrio, níquel e cádmio, as concentrações quantificadas estiveram abaixo do limite de detecção do método em todas as coletas feitas.

O chumbo foi detectado apenas em duas das coletas, jul/07 e jul/08, o que pode indicar que a espécie está presente no reservatório apenas nesse período do ano, correspondente ao período de seca. Em jul/07, o metal foi constatado em todos os pontos, apresentando um aumento no sentido da cabeceira para a barragem, o que mostra um possível acúmulo deste ao longo da represa. A maior concentração nessa coleta foi observada no ponto P₆ (0,293 mg L⁻¹) e a menor no ponto P₂ (0,110 mg L⁻¹). Todos os pontos apresentaram concentrações acima do limite máximo estabelecido pela CONAMA n° 357/05, de 0,010 mg L⁻¹ Pb.

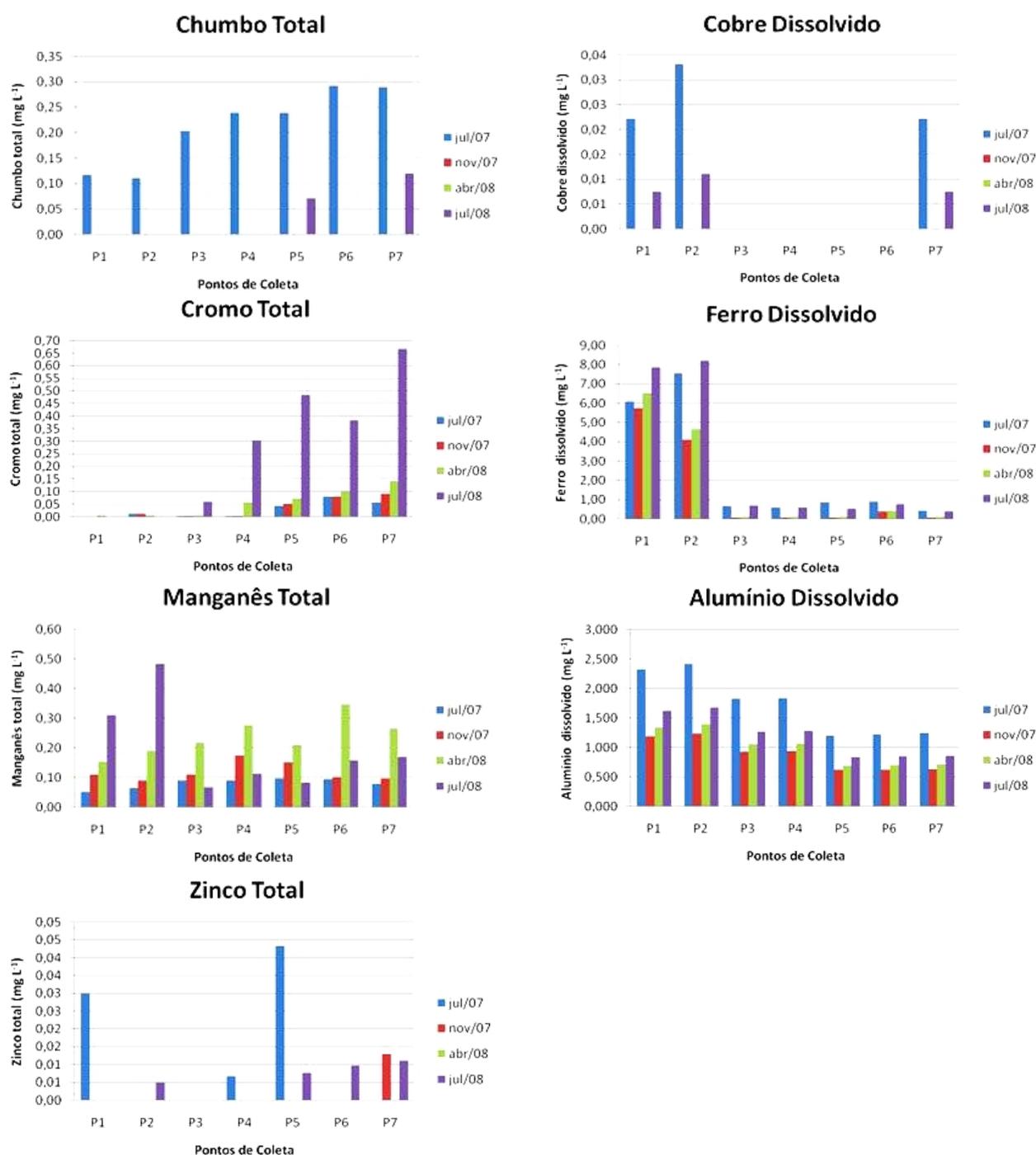


Figura 9: Concentração de chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, manganês total, alumínio dissolvido e zinco total para os diferentes pontos de coleta da represa de Itupararanga-Votorantim/SP em diferentes períodos sazonais.

O cobre dissolvido foi detectado também em apenas duas coletas: em jul/07 e em jul/08 nos pontos P₁, P₂ e P₇, no período de seca. A maior concentração encontrada foi de 0,033 mg L⁻¹ no ponto P₂ da coleta de jul/07 e a menor de 0,007 mg L⁻¹ nos pontos P₁ e P₇ da coleta de jul/08.

As concentrações de cromo total apresentaram nítida variação espacial e sazonal. Percebe-se um aumento da concentração em direção à barragem, do P₁ para o P₇, e aumento da coleta de jul/07 para jul/08. A maior concentração foi de 0,669 mg L⁻¹ no P₇ em jul/08, estando acima do valor permitido pela CONAMA n° 357/05 de 0,05 mg L⁻¹ Cr.

As concentrações de ferro dissolvido nos pontos P₁ e P₂ se mostraram mais elevadas em todas as coletas, isso possivelmente devido à entrada de água dos afluentes na represa. Entre as coletas é possível observar uma diminuição da concentração nos meses de nov/07 e abr/08 (período chuvoso)

e um aumento em jul/08, o que pode indicar que no período de seca ocorre um aumento da concentração dessa espécie devido à diminuição das chuvas. A maior concentração foi observada no ponto P₂ da coleta de jul/08 (8,209 mg L⁻¹) e a menor no ponto P₅ da coleta de nov/07 (0,082 mg L⁻¹). A maioria dos pontos apresentou concentração acima do limite máximo de 0,30 mg L⁻¹ Fe estabelecido pela CONAMA n° 357/05.

Não é possível observar uma tendência espacial ou sazonal clara na concentração do manganês. Percebe-se que na coleta de jul/08 ocorreu um aumento da concentração da espécie nos pontos P₁ e P₂. Os menores valores foram observados nas coletas de jul/07 e nov/07. A menor concentração foi de 0,05 mg L⁻¹ no P₁ de jul/07 e a maior foi de 0,483 mg L⁻¹ no P₂ de jul/08. A maioria dos pontos de amostragem apresentaram concentrações maiores do que o limite de 0,10 mg L⁻¹ Mn estabelecido pela CONAMA n° 357/05.

O zinco foi detectado em apenas alguns pontos, principalmente nas coletas de nov/07 e jul/08. Apenas em jul/07 verificaram-se concentrações acima do limite de 0,18 mg L⁻¹ Zn estabelecido pela CONAMA n° 357/05, nos pontos P₁ e P₅ (0,030 e 0,043 mg L⁻¹ respectivamente).

Todos os pontos apresentaram concentrações de alumínio dissolvido acima do limite legislado de 0,1 mg L⁻¹ Al estabelecido pela CONAMA n° 357/05. A maior concentração observada foi de 2,421 mg L⁻¹ no P₂ da coleta de jul/07 e a menor foi de 0,612 mg L⁻¹ no P₅ da coleta de nov/07. Os pontos P₁ e P₂ apresentaram concentrações maiores do que os demais em todas as coletas e observa-se uma redução da concentração em todos os pontos de jul/07 para nov/07.

2.1 ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

A avaliação da qualidade das águas de uma bacia hidrográfica é amplamente utilizada para gerar informações acerca do grau de degradação a qual a bacia está sujeita, bem como comunicar a todas as partes interessadas quais são os principais pontos a serem investigados e quais as ações a serem tomadas para evitar o aumento da degradação na área avaliada (SILVA; JARDIM, 2006).

O Índice de qualidade das águas (IQA) proposto pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) utiliza para sua ponderação uma combinação de nove diferentes parâmetros, que, de acordo com uma tabela de valores, determina a qualidade das águas de um determinado corpo hídrico. Os parâmetros utilizados são: pH, oxigênio dissolvido, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias a 20°C (DBO_{5,20}), coliformes fecais, turbidez, sólidos suspensos totais, nitrogênio total e fósforo total (CETESB, 2007). Dessa forma, o IQA proposto é calculado segundo o produtório dos nove parâmetros, associados à ponderação de cada termo, de acordo com a equação a seguir:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

em que: “IQA” é o valor do índice, que varia de 0 até 100; “q” é a qualidade do parâmetro calculado, a qual varia de 0 até 100; e “w” é a ponderação (importância) de cada parâmetro, cuja soma é igual a 1.

A partir dos parâmetros analisados, pôde-se a partir da metodologia proposta pela CETESB, calcular o Índice de Qualidade da Água nos pontos estudados, sendo este apresentado na Figura 10. O cálculo desse índice permitiu avaliar as características do corpo hídrico e apresentá-las de forma simplificada, o que poderá no futuro colaborar no planejamento de um sistema de suporte à tomada de decisão da bacia hidrográfica (SILVA; JARDIM, 2006).

Na Figura 10 nota-se que a qualidade da água do reservatório de Itupararanga encontra-se em bom estado de conservação para fim de abastecimento público, observados os procedimentos de tratamento e distribuição. Destaca-se que os pontos 1 e 2, embora tendo água qualificada como *Boa*, apresentaram os índices mais baixos do conjunto de pontos, o que se justifica pelo fato destes pontos apresentarem alta turbidez, alta concentração de fósforo total e baixos valores de pH, em

decorrência do encontro das águas dos rios que deságuam no reservatório. Nota-se ainda que os pontos 4, 6 e 7 apresentaram qualidade *Ótima* na coleta de abr/08.

Observa-se que a qualidade das águas do reservatório não varia significativamente em função da posição geográfica e da sazonalidade. Assim, em linhas gerais, a água do reservatório de Itupararanga é considerada boa para o abastecimento público, porém em decorrência do aumento da ocupação das margens que deveriam ser preservadas, cultivo de inúmeras espécies de vegetais e contaminação decorrente de seus afluentes, é possível que a qualidade das águas do reservatório de Itupararanga não se mantenha da mesma forma nos próximos anos.

No caso do Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), modificado por Toledo et al. (1983), há a possibilidade de se avaliar troficamente o estado de um reservatório, a partir de suas características limnológicas, caracterizando o corpo em relação aos parâmetros de transparência da água, concentração de clorofila-a e fósforo total. Isto significa transformar uma análise multidimensional, constituída por parâmetros como oxigênio dissolvido, nutrientes que condicionam o afloramento de algas, fitoplâncton, zooplâncton e alguns outros parâmetros que participam ativamente do crescimento da flora de um ecossistema aquático (SPERLING, 1994).

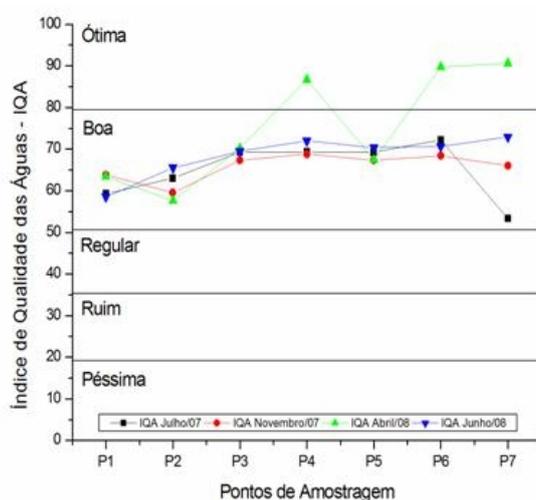


Figura 10: Índice de Qualidade da Água nos pontos estudados em função das sazonalidades.

O IET segundo Carlson (1977) e modificado por Lamparelli (2004), para reservatórios tropicais pode ser calculado da seguinte forma:

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

$$IET(P_{total}) = 10 \left(6 - \left(\frac{1,77 - 0,42(\ln P_{total})}{\ln 2} \right) \right)$$

$$IET = \frac{IET(Cl) + IET(P_{total})}{2}$$

em que: P_{total} a concentração de fósforo total e Cl a concentração de clorofila-a (LAMPARELLI, 2004; CETESB, 2008b).

Os IET calculados para todos os pontos de cada coleta utilizando fósforo total (P) e clorofila-a (Cl) como parâmetros são apresentados na Figura 11.

A média entre esses dois índices foi utilizada para obter um resultado final para cada ponto em cada coleta. Esse resultado é apresentado na Tabela 3. De acordo com a escala de cores, é possível identificar o estado trófico e avaliar a produtividade dos corpos aquáticos. A cor verde (oligotrófico) indica corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes. A cor bege (mesotrófico) indica corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos. A cor amarela (eutrófico)

indica corpos aquáticos com alta produtividade, com redução da transparência, em que ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração dos nutrientes. A cor laranja (supereutrófico) indica corpos aquáticos com alta produtividade, de baixa transparência, em que ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a floração de algas. A cor roxa (hipereutrófico) indica corpos de água que são afetados significativamente pela elevada concentração de matéria orgânica e nutriente, com comprometimento acentuado dos seus usos.

Ao observar os dados, confirma-se a suspeita de que o grau de eutrofização tem a tendência de crescimento no período estudado, sendo que a primeira coleta apresentou o menor grau encontrado, observando-se um aumento significativo na última coleta.

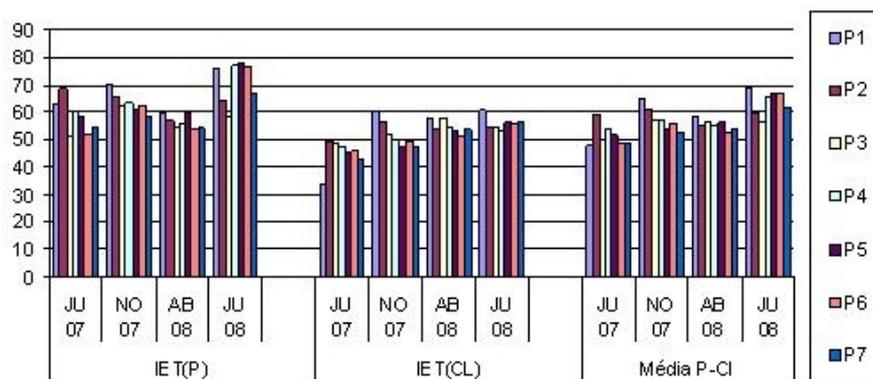


Figura 11: Índice de Estado Trófico segundo Carlson (1977) e modificado por Toledo et al. (1983) representado em cada ponto em seus diferentes períodos sazonais.

Tabela 3: Classificação do índice de Estado Trófico nos diferentes pontos de coleta nos diferentes períodos sazonais

	Julho 07	Novembro 07	Abril 08	Julho 08
P ₁	OLIGOTRÓFICO	SUPEREUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	HIPEREUTRÓFICO
P ₂	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
P ₃	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO
P ₄	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	SUPEREUTRÓFICO
P ₅	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	SUPEREUTRÓFICO
P ₆	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	SUPEREUTRÓFICO
P ₇	OLIGOTRÓFICO	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO

De acordo com a CETESB (2008c), o Índice de qualidade da água para proteção da Vida Aquática (IVA) tem objetivos diferentes de um índice para determinação da qualidade da água para o consumo humano ou recreação de contato primário, pois seu foco é a avaliação da qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora em geral. Para a realização do cálculo, o IVA leva em consideração as concentrações de contaminantes químicos tóxicos (cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, zinco, fenóis e surfactantes), seu efeito sobre os organismos aquáticos (toxicidade) e dois dos parâmetros considerados essenciais para a biota (pH e oxigênio dissolvido), parâmetros esses agrupados no IPMCA (Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática). Além disso, o IET também é levado em consideração nos cálculos, fazendo com que o IVA forneça informações não só sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos, como também sobre o seu grau de trofia.

O IVA deverá ser calculado a partir do IPMCA e do IET, segundo a expressão: $IVA = (IPMCA \times 1,2) + IET$ e descreve cinco classificações de qualidade da água.

Os valores do IPMCA para cada ponto em cada uma das quatro coletas são apresentados na Tabela 4.

A partir dos valores calculados de IET e IPMCA foi possível calcular o Índice de Qualidade de Água para proteção da vida aquática (IVA), que tem suas classificações apresentadas na Tabela

5. A escala de cores foi criada com o intuito de facilitar a identificação do ambiente, ou seja, se está em boas condições ou não. Desta maneira, a boa qualidade vem acompanhada da cor verde e a péssima da cor roxa, sendo intermediadas pela qualidade regular (amarela) e ruim (rosa).

Na Tabela 5 verifica-se piora na qualidade da água para proteção da vida aquática de jul/07 para jul/08, embora tenha ocorrido melhora no IPMCA. Isso pode ser explicado pelo aumento do Índice de Estado Trófico, que mostrou uma tendência no processo de eutrofização das águas do reservatório.

Tabela 4: Índice de parâmetros mínimos para a preservação da vida aquática (IPMCA) para os diferentes pontos do reservatório estudados e em função da sazonalidade

Pontos de Coleta	IPMCA			
	Jul/07	Nov/07	Abr/08	Jul/08
P ₁	4	1	1	2
P ₂	2	2	1	1
P ₃	2	1	1	2
P ₄	2	1	2	2
P ₅	2	1	2	2
P ₆	2	1	2	1
P ₇	2	2	2	2

Tabela 5: Classificações de qualidade para proteção da vida aquática para os diferentes pontos do reservatório estudados e em função da sazonalidade

Pontos de Coleta	IVA			
	Jul/07	Nov/07	Abr/08	Jul/08
P ₁	RUIM	RUIM	BOA	PÉSSIMA
P ₂	RUIM	RUIM	BOA	REGULAR
P ₃	REGULAR	BOA	BOA	REGULAR
P ₄	REGULAR	BOA	REGULAR	RUIM
P ₅	REGULAR	BOA	REGULAR	RUIM
P ₆	REGULAR	BOA	REGULAR	RUIM
P ₇	REGULAR	REGULAR	REGULAR	RUIM

3 SEDIMENTOS E METAIS BIODISPONÍVEIS

Sedimentos são parte integrante, essencial e dinâmica das bacias hidrográficas, além de serem derivados do intemperismo e erosão dos minerais, matéria orgânica e solos das porções mais altas da área de drenagem (EUROPEAN SEDIMENT NETWORK, 2008).

Em ambientes aquáticos, os íons metálicos e os metalóides podem estar distribuídos entre as fases solúveis em água, coloidal, material em suspensão e uma grande proporção dessas espécies são incorporados aos sedimentos de fundo (FILGUEIRAS et al., 2002).

O sedimento tem sido cada vez mais utilizado em estudos de avaliação da qualidade de ecossistemas aquáticos, por retratar condições históricas da influência de atividades antrópicas sobre esses ambientes, nem sempre detectáveis pelo uso de variáveis da água (CETESB, 2006).

Desta maneira, a avaliação dos metais em sedimento da represa de Itupararanga fornece e ajuda a elaborar um diagnóstico mais completo sobre a qualidade deste importante compartimento aquático da bacia do Médio Tiete.

Na Tabela 6 é apresentada a concentração total de metais nos sedimentos para o somatório dos diferentes extratores (reagentes) utilizados. As fases obtidas durante o processo de extração foram: lixiviável (íons trocáveis e íons associados a carbonatos), que possui maior mobilidade e é extraída com CH₃COOH (reagente 1); redutível (íons associados a óxidos de ferro e de manganês), extraída com uma solução de NH₂OH.HCl (reagente 2); oxidável (metais associados a sulfetos e matéria orgânica), extraída após uma oxidação com H₂O₂ (reagente 3) com retomada em CH₃COONH₄ (reagente 4), para prevenir readsorção e pseudo-residual (SILVA et al., 2002).

Já na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos para a concentração total de metais no sedimento para os quais foi utilizado o processo de pseudo-digestão. Neste processo os metais determinados apresentam menor risco ao ambiente, pois estão fortemente ligados ao sedimento, não estando disponíveis às reações de oxi-redução e solubilização.

Tabela 6: Concentração total de metais (mg kg^{-1}) utilizando-se diferentes extratores em sedimentos da Represa Itupararanga

Amostra	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
P ₁	< LD	2,34 ± 0,2	0,40 ± 0,1	0,33 ± 0,2	5,18 ± 0,3
P ₂	< LD	9,51 ± 0,5	2,22 ± 0,1	2,70 ± 0,4	19,45 ± 0,2
P ₃	< LD	4,45 ± 0,2	2,05 ± 0,1	1,20 ± 0,3	3,02 ± 0,2
P ₄	< LD	4,16 ± 0,2	2,02 ± 0,2	0,80 ± 0,2	2,50 ± 0,1
P ₅	< LD	4,80 ± 0,4	2,20 ± 0,1	< LD	2,06 ± 0,3
P ₆	< LD	7,09 ± 0,6	0,97 ± 0,2	3,23 ± 0,2	2,60 ± 0,2
P ₇	< LD	3,79 ± 0,3	2,22 ± 0,1	< LD	0,18 ± 0,1

< LD: limite de detecção

Tabela 7: Concentração de metais totais (mg kg^{-1}) em sedimentos da Represa Itupararanga após digestão com água-régia

Amostra	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
P ₁	< LD	4,00 ± 0,2	< LD	< LD	27,60 ± 3,2
P ₂	< LD	28,80 ± 2,4	28,70 ± 1,8	< LD	87,80 ± 5,4
P ₃	< LD	14,00 ± 3,2	3,00 ± 0,2	< LD	35,10 ± 3,2
P ₄	< LD	10,10 ± 1,2	0,60 ± 0,2	< LD	29,50 ± 2,0
P ₅	< LD	15,30 ± 0,8	11,10 ± 2,2	< LD	27,00 ± 1,8
P ₆	< LD	23,30 ± 1,7	15,00 ± 0,8	< LD	39,30 ± 2,8
P ₇	< LD	6,40 ± 0,5	7,00 ± 0,3	< LD	30,40 ± 0,9

< LD: limite de detecção

Os metais estudados apresentaram valores baixos para o somatório das frações extraídas comparadas a quantidade de metais totais extraídos na pseudo-digestão. Essas diferenças podem ser explicadas pela fração residual das amostras que continham esses metais.

Com relação à variação espacial, os pontos P₂ e P₆ apresentaram elevados valores de cobre, níquel e zinco quando comparados com os demais locais. Em P₂ tem-se o deságue do rio Una, que carrega todo os efluentes da cidade de Ibiúna, a qual tem indústrias do ramo de embalagens plásticas. Em P₆ está o clube náutico que recebe muitos de turistas que fazem uso de barcos, lanchas e jet-skis para os passeios. Além disso, neste ponto as construções de casas de veraneio e também de lugares para guardar os barcos são comuns. Já no ponto P₁, o qual recebe aporte de efluentes das cidades vizinhas, é possível observar concentrações baixas de metais, podendo assim concluir que as descargas que ocorrem neste ponto não incluem os efluentes industriais.

A contribuição da fração de maior interesse ambiental, mais lábil, não é expressiva para a maioria dos elementos, com exceção do cobre para todas as amostras. De todos os elementos estudados, o cobre (com exceção no ponto 7) se apresenta distribuído entre as frações oxidável, redutível e residual, o que pode ser visualizado na Figura 12. Em relação ao cobre, de maneira geral, verificou-se que os metais dos sedimentos coletados nos pontos 1 e 7 apresentaram maior disponibilidade potencial para o sistema aquático, devido principalmente aos menores teores de matéria orgânica presentes nas amostras. Entre 5 e 18 % (m/m) aproximadamente do total de cobre nos sedimentos, foi encontrada na fração oxidável. Significativas concentrações de cobre foram determinadas como fases oxidáveis, o que sugere uma forte associação com sulfetos e matéria orgânica (SILVA et al., 2002), principalmente, nos pontos 2 e 6 para o cobre, como observado no braço Rio Grande, na represa Billings (MARIANI; POMPEO, 2008).

A Figura 12 ainda mostra que o níquel encontra-se preferencialmente associado à fração residual e, portanto, menos móvel em todos os pontos analisados, com exceção do ponto 1. Quantidades significativas de níquel, principalmente no ponto 1, presentes nos sedimentos foram

extraídas nessa etapa, porém a fração significativa e predominante de níquel foi encontrada na fração residual. Nota-se que a fração oxidável inclui 77% (m/m) do total de níquel no sedimento do ponto 4, indicando uma forte ligação do metal com a matéria orgânica. O níquel, portanto, possui uma baixa mobilidade, e não pode ser considerado móvel nem biodisponível.

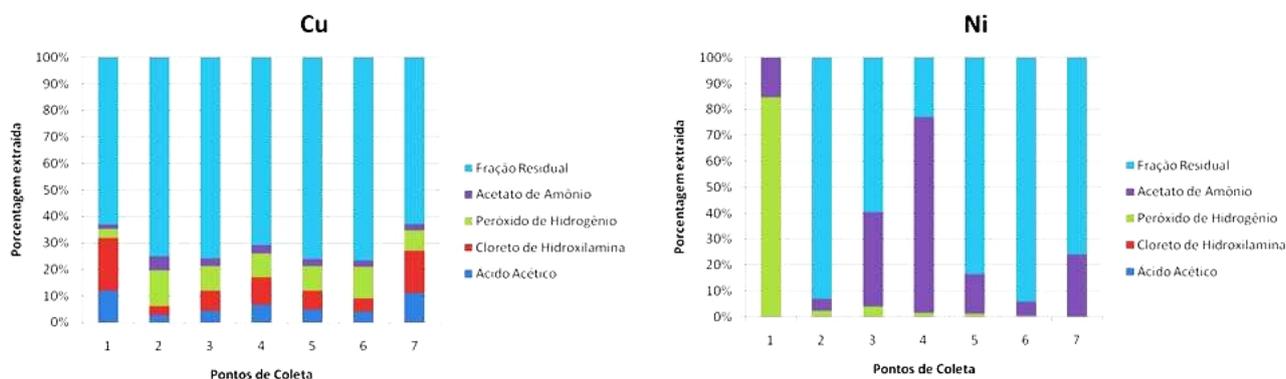


Figura 12: Distribuição de Cu e de Ni (% da quantidade total) extraído pelos extratores utilizados nos diferentes pontos de coleta de sedimento na represa de Itupararanga/Votorantim-SP.

4 MEIO AMBIENTE E MODELAGEM HIDROLÓGICA

A modelagem hidrológica tem se destacado nos estudos de diagnóstico ambiental uma vez que tem importância tanto na compreensão dos processos, como pela agilidade em fornecer resultados para as mais diversas situações, possibilitando que as decisões sejam tomadas mais rapidamente pelas pessoas responsáveis no planejamento dos recursos hídricos (TUCCI, 1987).

Segundo Tucci (1987), os modelos hidrológicos estão baseados em diferentes aspectos e classificados como: a) determinístico: quando as variáveis utilizadas não são aleatórias e resultam da observação de grandezas reconstituídas, portanto não tem uma distribuição de probabilidade; b) conceitual: quando os algoritmos que constituem o modelo tentam representar de uma maneira mais ou menos precisa os fenômenos físicos que se busca descrever; e c) distribuído: quando os parâmetros variam em função do tempo e do espaço. A escolha do modelo hidrológico adequado é difícil, tanto pelo tipo e número de variáveis e parâmetros envolvidos, assim como, pelo banco de dados disponíveis e o tipo de discretização dos valores em relação ao local de estudo considerado. Entre os modelos hidrogeocímicos espacialmente distribuídos mais conhecidos podem ser citados: LASCAM (SIVAPALAN et al., 1996); SWIN (KRYSANOVA et al., 1998); BASINS (LAHLOU et al., 1998) e SWAT (ARNOLD et al., 1999).

O modelo hidrogeocímico escolhido para o presente trabalho foi o SWAT - Soil and Water Assessment Tool (ARNOLD et al., 1999) que é um modelo distribuído muito utilizado nos Estados Unidos e na Europa, sendo de domínio público. Ele pode ser utilizado para meso-escala (até 20.000 km²) e modificado para uma escala que seja mais conveniente dependendo da área de estudo, necessitando como base de dados o modelo digital de elevação (DEM), de mapas do uso da terra, do tipo de solo e dados hidrometeorológicos.

O modelo SWAT é dividido em duas fases: a) a fase terrestre: representada pela equação do balanço de massa e que controla a quantidade de água, sedimentos, nutrientes e elementos químicos que são lixiviados para o canal principal e b) a fase aquática: definida como sendo, o transporte da água, dos sedimentos, etc., através da rede de drenagem até o exutório da bacia. A simulação do ciclo hidrológico está baseada na seguinte equação:

$$AD_t = AD + \sum_{i=1}^t (P_i - ES_i - ET_i - PE_i - FR_i)$$

em que: AD_t é o conteúdo final de água (mm); AD é a água disponível (mm); P_i é a precipitação (mm); ES_i é o escoamento superficial (mm); ET_i é a evapotranspiração (mm); PE_i é a percolação (mm); FR_i é o fluxo de retorno (mm) e t é o tempo (dias).

Os resultados dos valores médios anuais (2005-2007) dos processos hidrológicos observados (P e Q_{obs}) e os resultados das simulações (Q_{est}) na bacia de Itupararanga, para as condições atuais de uso e cobertura do solo encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8: Valores médios anuais dos processos hidrológicos observados (P , ET e Q_{obs}) e simulados (Q_{est}) na represa de Itupararanga

Período	P (mm)	ET (mm)	Q_{obs} (m ³ /s)	Q_{est} (m ³ /s)	Sedimentos (ton/ha/a)
2005-2007	1326	896	12,4	10,5	0,42

P= precipitação; ET= evapotranspiração; Q_{obs} = vazão observada; Q_{est} = vazão estimada (simulada).

Os resultados mostram que o modelo simulou adequadamente os processos envolvidos neste estudo. O comportamento destes refletiu as características de uso e tipo de solo da área. Os valores da Tabela 8 mostram que no período houve uma precipitação média anual na bacia de 1326 mm, e uma evapotranspiração média anual de 896 mm respectivamente.

Valores semelhantes de evapotranspiração nas condições da região de Sorocaba e de Itu foram observados por Sentelhas et al., (1999). Considerando-se ainda, a diferença entre os valores de precipitação e vazão para um período relativamente longo, pode-se admitir que o armazenamento de água no solo como sendo próximo de zero (CHOW et al., 1988), o que representa em termos médios uma evapotranspiração entre 60 e 70%, resultados também observados por Scardua (1994) e Leopoldo et al., (1982).

A Tabela 8 mostra que os valores médios observados e simulados foram muito próximos, sendo este último subestimado em aproximadamente 15%, o que pode ser considerado como um valor aceitável para este tipo de simulação, como proposto por Arnold et al., (1999).

5 CONCLUSÃO

A partir dos parâmetros analisados foi possível avaliar a influência da variação espacial e sazonal dos índices de qualidade da água e proteção da vida aquática, em sete diferentes pontos do reservatório de Itupararanga em Votorantim-SP.

Espacialmente não foi possível observar influência do uso e ocupação das margens na qualidade da água, ficando evidente apenas a variação significativa das concentrações de espécies nos pontos P_1 e P_2 com relação aos demais. É válido destacar a ocorrência nesses dois pontos: das menores concentrações de oxigênio dissolvido, de maiores valores de cor, turbidez e concentrações dos ânions (SO_4^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Cl^-), sólidos e alguns metais, como ferro e alumínio dissolvido. O comportamento do cromo merece destaque, pois se percebe uma clara variação espacial, ocorrendo um acúmulo da espécie ao longo da represa, com concentrações baixas a montante e concentrações bastante elevadas a jusante, nos pontos P_6 e P_7 , ultrapassando os limites estabelecidos pela CONAMA n° 357/05.

A metodologia utilizada para a caracterização das interações entre espécies metálicas e sedimentos na represa de Itupararanga, permitiu avaliar a possível mobilidade/transferência das espécies para a coluna d'água. A distribuição de metais indica uma recente e fraca poluição por agroquímicos e efluentes em amostras de sedimentos da represa de Itupararanga, já que os mesmos apresentam baixas concentrações de metais estudados. O lançamento de efluentes, principalmente de matéria orgânica, influencia na labilidade relativa das espécies metálicas.

A simulação da vazão numa bacia hidrográfica é um componente importante dentro do manejo dos recursos hídricos. Os valores obtidos pelo modelo na bacia estudada são adequados ao

nível da escala das mesmas e demonstra a capacidade de integrar as características das bacias de maneira distribuída.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP e CNPq por bolsas e suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G.; NEITSCH, S. L.; WILLIAMS, J. R. **SWAT, soil and water assessment tool**. Texas: USDA, Agricultural Research Service, Temple, 1999.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 306 p.
- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**. v.22, p. 261-269, 1977.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos. Anexo 4. In: CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo (2006)**. São Paulo: CETESB, 2007. (Série Relatórios).
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2007.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB, 2008a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 02 dez. 2008.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **IET: Índice do estado trófico**. São Paulo: CETESB, 2008b. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iva_iet.asp>. Acesso em: 03 dez. 2008.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **IVA: Índice de qualidade para proteção da vida aquática**. São Paulo: CETESB, 2008c. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iva.asp>. Acesso em: 03 dez. 2008.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw Hill, 1988.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 357/2005, 274/2000, 344/2004**. Brasília, DF.: CONAMA, 2005.
- EUROPEAN SEDIMENT NETWORK. Sediment. Disponível em: <<http://www.sednet.org/>>. Acesso em: 23 abr. 2008.
- FILGUEIRAS, A. V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 4, p.823–857, 2002.
- KRYSANOVA, V.; MULLER-WOHLFEIL, D.; BECKER, A. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds. **Ecological Modelling**, v.106, p.261-289, 1998.
- LAHLOU, M.; SHOEMAKER, L. CHOUDHRUY, S.; ELMER, R; MANGUERRA, H; PARKER, A. **BASINS v. 2.0, Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources**. Washington, DC.: US EPA, 1998.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.
- LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.; MATSUI, W.; SALATI, E. Estimativa da evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazônica**, v. 12, p. 23-28, 1982.
- MARIANI, C. F.; POMPÊO, M. Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment – Rio Grande Reservoir, Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v.8, p. 284-288, 2008.

- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, p. 33- 38, 2002.
- ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **APA de Itupararanga**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/apas/itupararanga.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2007.
- SCARDUA, F. **Caracterização hidrológica de uma microbacia hidrográfica da estação experimental de ciências florestais de Itatinga**. 1994. 94f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CAMARORI, P. H.; SWART, S. **Balances hídricos climatológicos do Brasil**. 1999. CD-ROM.
- SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. A new quality index for protection of aquatic life applied to the Atibaia River, region of Campinas/Paulínia cities – São Paulo State. **Química Nova**, v. 29, p. 689-694, 2006.
- SILVA, I. S.; ABATE, G.; LICHTIG, J.; MASINI, J. C. Heavy metal distribution in recent sediments of the Tietê-Pinheiros river system in São Paulo state, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 17, p. 105-116, 2002.
- SIVAPALAN, M.; VINEY, N. R.; JEEVARJ, C. G. Water and salt balance modelling to predict the effects of land use changes in forested catchment. 3. The large catchment model. **Hydrological Processes**, v. 10, p. 429-446, 1996.
- SMITH, W. S.; SALMAZZI, B. A.; POSSOMATO, H. M.; OLIVEIRA L. C. A.; ALMEIDA, M. A. G.; PUPO, R. H.; TAVARES, T. A. A bacia do rio Sorocaba: caracterização e principais impactos. **Revista Científica do IMAPES**, v. 3, p.110-113, 2005.
- SOUZA, R. A. S.; ARAÚJO, S. R. de; JESUS, V. A. M. de; MARQUES, J. J.; CURI, N.; GUERREIRO, M. C. Frações de fosfato em reservatórios de água em Lavras – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 2, 2007.
- SPERLING, E. Von. Avaliação do estado trófico de lagoas e reservatórios tropicais. **Revista Bio**, v. 2, p. 68-76, 1994.
- TOLEDO, A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Balneário Camboriú, Santa Catarina, p. 1- 34, 1983.
- TUCCI, C. E. M. Modelos determinísticos. In: BARTH, FLÁVIO T. et al. (Orgs). **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: ABRH, 1987. P. 211-324. (Coleção Recursos Hídricos, 1).
- VAN HERPE, Y.; TROCH, P.; CALLEWIER, L.; QUINN, P. Application of a conceptual catchment scale nitrate transport model on two rural river basins. **Environmental Pollution**, v. 102, p. 569-77, 1998.