



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

MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA UHE MAUÁ

RELATÓRIO FINAL



CONSÓRCIO ENERGÉTICO CRUZEIRO DO SUL

COORDENAÇÃO E EXECUÇÃO DO TRABALHO



LACTEC – Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento

EQUIPE TÉCNICA

• Maria Cecília Z. Schafhauser	Administradora	
• Manoel José Domingues	Engº Florestal	CREA 10378/D-PR
• Irineu Bianchibi Jr.	Biólogo	CFB 01127-84
• Ingrid Illich Muller	Engª Civil	CREA 16.600/D-PR
• Mauricio Muller	Engº Civil	CREA 26.932/D-PR

Curitiba, junho de 2009

SUMÁRIO

1. RESUMO	4
1.1. Dados Gerais do Reservatório	7
2. OBJETIVOS	8
3. MÉTODOS	8
3.1. Modelo de Simulação de Alterações da Qualidade da Água	8
3.1.1. Parametrização do Modelo: Estimativa da Fitomassa	15
3.1.2. Parametrização do Modelo: Coeficientes de Reação	17
3.1.3. Parametrização do Modelo: Inventários Limnológicos	19
2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Características (Físicas, Químicas e Biológicas) Previsíveis para o Reservatório	20
4.2. Desmatamento	33
3. CONCLUSÕES	40
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Segmentação do reservatório da UHE Mauá (LACTEC/Juris Ambientis, 2009).	11
Figura 2 - Variações temporais dos tempos médios de residência estimados para os três setores e para o reservatório como um todo.	22
Figura 3 - Variação temporal da elevação de cota durante a operação de enchimento. .	24
Figura 4 – Variações temporais das taxas de incorporação da biomassa e das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio, de oxigênio dissolvido, de nitrogênio total e fósforo total, na região referente ao Setor I.	25
Figura 5 – Variações temporais das taxas de incorporação da biomassa e das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio, de oxigênio dissolvido, de nitrogênio total e fósforo total, na região referente ao Setor II.	26
Figura 6 – Variações temporais das taxas de incorporação da biomassa e das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio, de oxigênio dissolvido, de nitrogênio total e fósforo total, na região referente ao Setor III.	27
Figura 7 - Efeitos da degradação da fitomassa remanescente sobre os períodos de anaerobiose e de $OD < 5 \text{ mg L}^{-1}$ e sobre as concentrações mínimas de OD e máximas de DBO, nitrogênio total e fósforo total.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do futuro reservatório.....	7
Tabela 2 - Relações entre cota, área e volume para o Setor I (rio Tibagi - trecho: Barragem até a foz do rio Barra Grande), Setor II (rio Tibagi - trecho: foz do rio Barra Grande até Telêmaco Borba), Setor III (rio Barra Grande até a foz no rio Tibagi) e para o reservatório da UHE Mauá.....	12
Tabela 3 - Tipologias vegetais da bacia do rio Tibagi; fonte: LACTEC/Juris Ambientis (2009).	16
Tabela 4 - Contribuições dos recursos vegetais e da matéria orgânica do solo para o teor de carbono facilmente oxidável (kg m^{-2}); Fontes: THEMAG-INVESTCO (2000); Bianchini Jr. et al. (1998), Bitar et al. (2002); Cunha-Santino & Bianchini Jr. (2002); LACTEC/Juris Ambientis (2009).....	17
Tabela 5 - Coeficientes de perda de massa dos detritos (condições aeróbias e anaeróbias) adotados nas simulações.....	19
Tabela 6 - Variáveis limnológicas adotadas nas simulações (condições de contorno). ...	19
Tabela 7 - Efeitos da proposta de desmatamento nas variáveis limnológicas consideradas (DBO, OD, N total e P total; valores de referência da Resolução CONAMA 357 (águas de Classe 2) e concentrações médias do rio Tibagi.....	38

1. RESUMO

Este trabalho tem por objetivo descrever e discutir aspectos relacionados com alterações da qualidade da água do futuro reservatório da Usina Hidrelétrica Mauá, tendo em vista a degradação da matéria orgânica do solo e dos recursos vegetais submersos durante a operação de enchimento. Visa, também, discutir as tendências da qualidade da água em função de diferentes regiões, considerando o eixo longitudinal do reservatório. Apresenta, ainda, subsídios para a definição das necessidades de desmatamento. Este estudo refere-se ao Programa de Desmatamento e Limpeza do Reservatório, parte integrante do Projeto Básico Ambiental da Usina Hidrelétrica Mauá.

O presente estudo contempla a aplicação de um modelo matemático (de 1ª ordem) que simula a operação de enchimento do reservatório. Para a execução das simulações: i) discutiram-se previamente os cenários (situações) de desmatamento¹ e de outras variáveis a serem consideradas (e.g. intensidade de desmatamento, época de início de enchimento, regras operativas); ii) foram selecionados (a partir de resultados de estudos de campo e de laboratório) os parâmetros a serem utilizados pelo modelo.

No geral, as simulações permitiram concluir que: i) o reservatório deverá apresentar duas regiões distintas: uma mais susceptível aos processos de degradação da matéria orgânica (trecho compreendido entre a barragem até a foz do rio Barra Grande - Setor I; braço do Barra Grande - Setor III) e outra, na qual tais processos não deverão afetar a qualidade da água de modo acentuado (trechos do reservatório a montante da foz do rio Barra Grande – Setor II); ii) o desmatamento possui baixa eficácia para a atenuação dos impactos ambientais ligados a qualidade da água; iii) A limpeza da bacia de acumulação pode ser considerada uma ação acessória (secundária); contudo, diante da intensidade, a proposta de desmatamento em andamento poderá contribuir significativamente para a melhoria da qualidade da água do reservatório; iv) se mantidas as atuais concentrações de nitrogênio e fósforo do rio Tibagi, no futuro, os efeitos da eutrofização poderão se constituir em problemas para o reservatório. Considerando somente a fertilização decorrente dos processos de degradação, na época de formação

¹ O termo desmatamento foi aplicado no contexto de remoção da fitomassa da bacia de acumulação e não somente no que se refere à extração de estruturas florestais de interesse econômico. Desse modo na referência de, por exemplo, remoção de 20% da fitomassa, subentende-se que se retirou, de modo uniforme 20% de todas estruturas (folhas, galhos, cascas e serapilheira). A matéria orgânica do solo foi considerada em todas as situações.

do reservatório na região mais afetada deverá ser a do braço do rio Barra Grande (Setor III) e a menos, a região a montante da foz do rio Barra Grande (Setor II).

INTRODUÇÃO

Este relatório refere-se ao estudo de previsão da qualidade da água do futuro reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Mauá, em função da submersão da matéria orgânica do solo e da fitomassa remanescente. Durante a formação de reservatórios artificiais, as alterações na qualidade da água devido à submersão dos solos e da vegetação se constituem num dos principais impactos sobre o meio biótico (Tundisi, 1978; Baxter & Glaude, 1980). No geral, essas alterações incluem a fertilização das massas de água e pressões no balanço de oxigênio dissolvido (Ploskey, 1985). Um dos métodos empregados para atenuar tais alterações consiste na remoção prévia da biomassa vegetal (nas suas diferentes formas) da área a ser inundada. Nesse contexto, estudos de simulação da qualidade da água de futuros reservatórios têm sido utilizados para o estabelecimento do grau de desmatamento necessário para atenuar e/ou neutralizar alguns impactos (Garzon, 1984; Bianchini Jr., 1997). Neste estudo, ressalta-se que o termo desmatamento é adotado no contexto de remoção da fitomassa (que inclui: folhas, galhos finos, cascas e serapilheira) da bacia de acumulação e não somente no que se refere à retirada de estruturas de interesse econômico (por exemplo: fustes e galhos grossos).

As atividades abordadas neste trabalho incorporam-se as normalmente desenvolvidas pelos estudos ambientais de empreendimentos hidrelétricos. Consideram os ciclos biogeoquímicos de alguns elementos, dentre os quais: o carbono e o nitrogênio. Com base nestes estudos, modelos matemáticos são desenvolvidos e utilizados para o conhecimento da ciclagem dos elementos em sistemas aquáticos (rios, lagos, reservatórios, áreas alagadas, etc.) e para subsidiarem tomadas de decisões, no caso da intervenção antrópica sobre estes ambientes.

A quantificação da área a ser desmatada é relevante por estar relacionada à atenuação de vários impactos sobre as características químicas, físicas e biológicas dos recursos hídricos envolvidos com as formações dos reservatórios. Principalmente os impactos relacionados com os balanços de: oxigênio dissolvido (por exemplo: mortalidade de peixes, formação de gás sulfídrico e de metano, aumento do poder de corrosão da água, etc.), nitrogênio e de fósforo (por exemplo: aumento da fertilidade da água). De acordo com vários estudos desenvolvidos (Jewell, 1971; Lush & Hynes, 1973; NAS, 1981; Chapra, & Reckhow, 1983; Wetzel, 1983; Ploskey, 1985; Esteves & Barbosa, 1986; Thomann & Müller, 1987; Davis & Cornwell, 1991; Gale et al., 1992; Moore Jr. et al., 1992) têm-se verificado que estas alterações tendem a diminuir o potencial de utilização das águas do reservatório e do trecho do rio a jusante do empreendimento (e.g.

dessedentação de animais, captação de água de abastecimento, recreação, irrigação, etc.).

1.1. DADOS GERAIS DO RESERVATÓRIO

O futuro reservatório da UHE Mauá será formado no rio Tibagi, logo a montante do local denominado Salto Mauá, nos municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira no estado do Paraná, a cerca de 50 km de Telêmaco Borba. As principais características do futuro reservatório estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do futuro reservatório

NA normal	635 m
Área (NA normal)	83,9 km ²
Volume total (NA normal)	2.137x10 ⁶ m ³
NA máximo excepcional	636,5 m
Área (NA máximo excepcional)	87,0 km ²
NA mínimo normal	626 m
Área (NA mínimo normal)	64,7 km ²
Volume total (NA normal)	1.473x10 ⁶ m ³
Volume útil	664x10 ⁶ m ³
Latitude (eixo)	24° 03' 48" S
Longitude (eixo)	50° 42' 05" O
Área de drenagem do Barramento	15,23 km ²
Altura da barragem	78 m
Vazão MLT (período histórico: 1931 a 2004)	279 m ³ s ⁻¹
Vazão Mínima Média Mensal	40,2 m ³ s ⁻¹
Vazão firme	65,0 m ³ s ⁻¹
Vazão sanitária	18,8 m ³ s ⁻¹
Tempo médio de residência	88,7 dias
Fluxo hidráulico médio	1,1x10 ⁻² dia ⁻¹
Profundidade máxima (NA normal)	65,0 m
Profundidade relativa (ZR)	0,6 %

2. OBJETIVOS

Nesse estudo foram previstas (com um modelo matemático) as alterações da qualidade da água, decorrentes da degradação da matéria orgânica do solo e da fitomassa remanescente da bacia de acumulação, na época de formação do futuro reservatório da Usina Hidrelétrica Mauá. Com base nestas informações buscou-se fornecer subsídios às ações de desmatamento, considerando a atenuação de impactos ambientais das áreas afetadas e os estabelecimentos de áreas onde os desmatamentos se fazem tecnicamente necessários.

3. MÉTODOS

O desenvolvimento do estudo contemplou a aplicação de um modelo matemático (de 1ª ordem) que simula a operação de enchimento de reservatórios. Antes da aplicação do modelo houve a necessidade de conciliar os resultados de outros estudos, para que as simulações realizadas fossem compatíveis com as informações já elaboradas. De modo geral, este trabalho compreendeu duas etapas: o levantamento de dados e a execução das simulações. Na primeira, as atividades incluíram os levantamentos de dados específicos da área diretamente afetada (topografia, tipos e quantidades relativas das formações florestais, vazões dos rios, variáveis físicas e químicas das águas dos rios) e de resultados de experimentos de degradação dos recursos vegetais que permanecerão na área a ser alagada (folhas, galhos, cascas e serapilheira). Na etapa de execução as atividades incluíram: i) a discussão prévia de cenários (situações) de desmatamento e de outras variáveis a serem consideradas nas simulações (por exemplo: intensidade de desmatamento, época de início de enchimento, vazões defluentes, etc.); ii) a escolha de parâmetros a serem utilizados pelo modelo (a partir de inventários limnológicos e de experimentos de degradação realizados em laboratório) e iii) a discussão dos resultados obtidos.

3.1. MODELO DE SIMULAÇÃO DE ALTERAÇÕES DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para a execução do estudo adotou-se a aplicação de um modelo matemático, implementado a partir dos fundamentos propostos por Chapra & Reckhow (1983), Hespanhol (1984), Thomann & Müller (1987) e Bianchini Jr. *et al.* (1988). Este modelo simula as alterações da qualidade da água em função das incorporações temporais da fitomassa e da matéria orgânica do solo, devidas aos processos de formação dos reservatórios e calcula as variações temporais das concentrações de oxigênio dissolvido (OD), da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), de fósforo e de nitrogênio previstas para as fases de enchimento e de recuperação inicial. As hipóteses básicas do modelo

são: i) o reservatório é dividido em um conjunto de segmentos longitudinais e laterais, assumindo-se a mistura completa em cada um deles; ii) cada segmento possui uma cota de base diferente (cota de início de enchimento) e este somente é considerado como parte do reservatório quando o nível deste supera tal cota de base; iii) a vegetação submersa sofre três processos fundamentais, de ação simultânea (considerados como reações cinéticas de primeira ordem): 1º) a oxidação da matéria orgânica fixa ao solo; 2º) a dissolução e oxidação da matéria orgânica, ficando esta fração dissolvida sujeita aos efeitos dos transportes advectivo e dispersivo; 3º) a dissolução de elementos nutrientes (nitrogênio e fósforo), considerados variáveis conservativas (não biodegradáveis), provenientes da vegetação submersa, sujeitos apenas aos transportes advectivo e dispersivo.

Em decorrência destes processos fundamentais, são avaliadas as concentrações das principais variáveis de qualidade da água envolvidas com a degradação da fitomassa, de modo iterativo. A presença de OD controla os mecanismos de oxidação e dissolução da matéria orgânica, de modo que, uma vez esgotada a disponibilidade deste elemento, os processos continuam, porém com taxas diferentes. Ainda nestas condições, são estimados, os fluxos afluentes de OD e os seus consumos potenciais, simulando o processo de recuperação das concentrações de oxigênio.

O modelo é constituído por dois módulos, um deles visa simular os eventos hidráulicos do enchimento e o outro os balanços de matéria orgânica, OD, fósforo total e nitrogênio total. O módulo hidráulico requer como informação de entrada as características geométricas dos segmentos (cota de base, comprimento, área e volume em condições de rio, segmentos adjacentes e áreas de espelho d'água em diferentes níveis de referência), a vazão de saída pela barragem e as vazões de entrada em cada segmento (variações temporais e/ou fluxos superficiais adjacentes). O segundo módulo constituído por um conjunto de equações diferenciais requer como dados de entrada: a densidade de vegetação (em termos de quantidade de carbono orgânico por metro quadrado), os equivalentes de DBO da vegetação fixa ao solo, os teores de nitrogênio e fósforo da fitomassa, as concentrações de OD, DBO, N e P dos rios envolvidos e os coeficientes de reação dos processos de oxidação. Os parâmetros cinéticos (coeficientes: de degradação dos detritos particulados (mineralização + assimilação microbiológica); de dissolução da matéria orgânica e de elementos nutrientes; de decaimento dos compostos orgânicos dissolvidos (mineralização + assimilação microbiológica)) adotados para as condições aeróbias e anaeróbias podem ser propostos a partir de experimentos de laboratório ou através de calibração direta, por meio da aplicação do modelo a outros

reservatórios monitorados durante o enchimento. Na Figura 1 apresenta-se a segmentação adotada para a simulação do enchimento do reservatório da UHE Mauá.

Para a operação do modelo foram fornecidas as seguintes informações: i) características físicas dos segmentos do reservatório (relações entre cota \times área e cota \times volume); Tabela 2; ii) vazões afluentes - médias mensais do rio Tibagi: Estação Fluviométrica Salto Mauá, código ANEEL 64490000 (período: 1931 a 2004) e Posto Telêmaco Borba, código ANEEL: 64482000 (período: 1980 a 2001), Figura 2; iii) vazão efluente durante a operação de enchimento: $18,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (50% da vazão $Q_{7,10}$); iv) densidade de vegetação (fonte: LACTEC/Juris Ambientis, 2009); v) análise elementar (composição química) dos recursos vegetais (folhas, galhos, cascas e serapilheira), fonte: Cunha-Santino & Bianchini Jr. (2002); vi) levantamentos limnológicos do rio Tibagi (Estação Telêmaco Borba; código IAP: TI-04: $24^\circ 21' 34'' \text{ S}$ e $50^\circ 35' 42'' \text{ O}$), período: 1996 a 2006; considerando as seguintes variáveis: DBO, OD, OD_{sat} (concentração de saturação do oxigênio dissolvido), N total ($\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_2 + \text{N-NO}_3$), P total e temperatura; vii) coeficientes cinéticos das reações de degradação da fitomassa (dissolução e oxidação) sob condições aeróbias (Bianchini Jr. et al., 1998; Antonio et al., 1999; Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2002) e anaeróbias (Bitar et al., 2002); viii) mês de início da operação de enchimento: novembro.

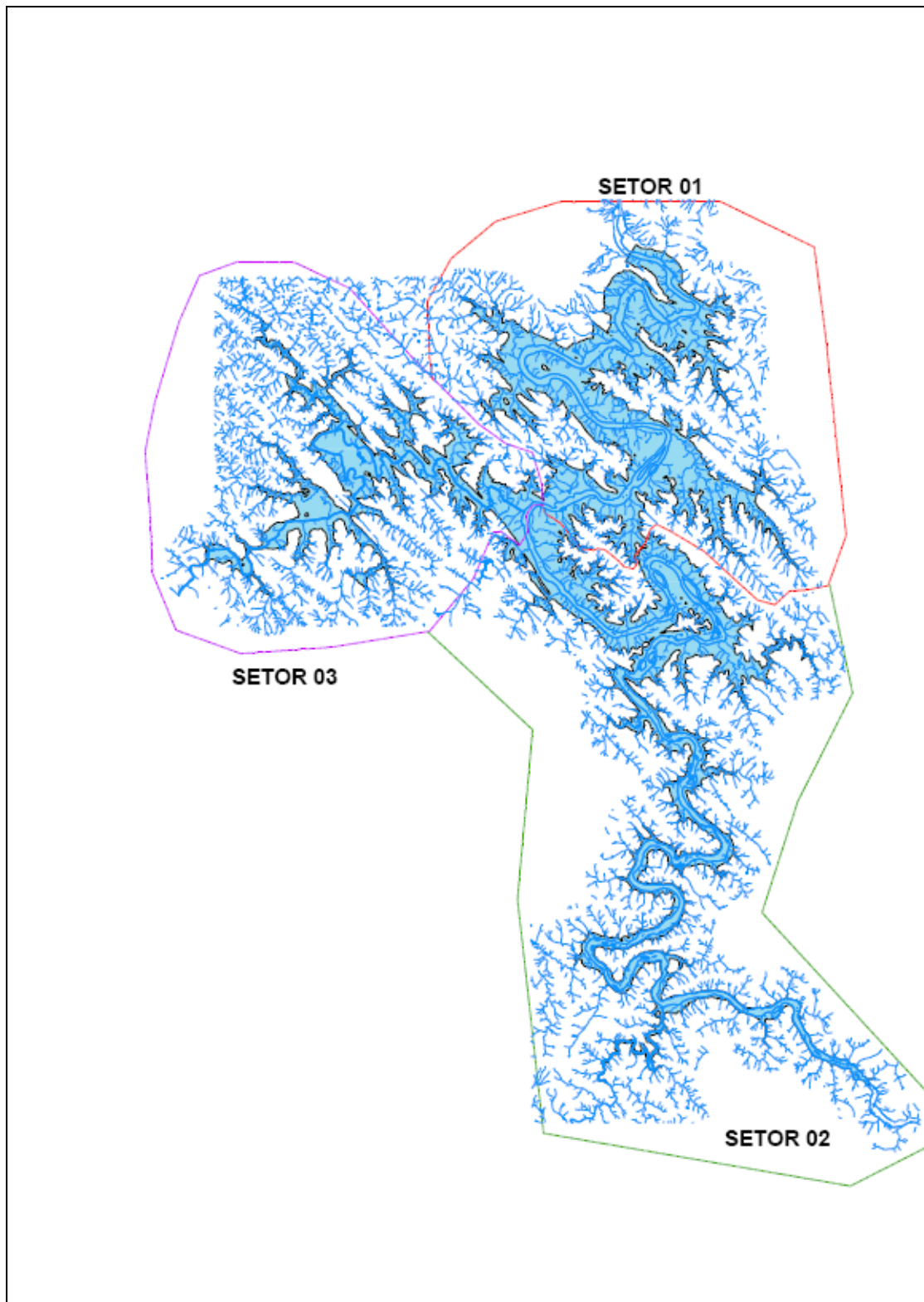


Figura 1 - Segmentação do reservatório da UHE Mauá (LACTEC/Juris Ambientis, 2009).

Tabela 2 - Relações entre cota, área e volume para o Setor I (rio Tibagi - trecho: Barragem até a foz do rio Barra Grande), Setor II (rio Tibagi - trecho: foz do rio Barra Grande até Telêmaco Borba), Setor III (rio Barra Grande até a foz no rio Tibagi) e para o reservatório da UHE Mauá.

Cota (m)	Setor I		Setor II		Setor III		Reservatório (total)	
	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)
570	1,32	1,89	-	-	-	-	1,32	1,89
575	4,11	14,83	-	-	-	-	4,11	14,83
580	7,66	43,80	0,85	0,60	0,34	0,24	8,85	44,63
585	10,28	88,46	1,97	7,46	0,92	3,28	13,17	99,20
590	12,27	144,74	4,61	23,44	1,29	8,77	18,17	176,95
595	14,15	210,72	5,92	49,68	1,61	15,98	21,68	276,38
600	16,18	286,47	7,02	81,96	1,98	24,94	25,18	393,36
605	18,34	372,68	8,76	121,31	2,62	36,39	29,72	530,38
610	20,69	470,16	11,17	171,01	3,96	52,70	35,81	693,86
615	23,15	579,65	13,76	233,20	5,95	77,28	42,86	890,13
620	26,07	702,60	17,84	311,95	8,35	112,83	52,26	1127,39
625	28,92	839,98	21,56	410,27	11,25	161,64	61,73	1411,89
630	31,68	991,36	26,13	529,27	14,62	226,11	72,42	1746,74

Cota (m)	Setor I		Setor II		Setor III		Reservatório (total)	
	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)
635	34,45	1156,56	31,04	671,97	18,41	308,46	83,90	2137,00
640	37,33	1335,91	34,91	836,71	22,15	409,67	94,39	2582,29

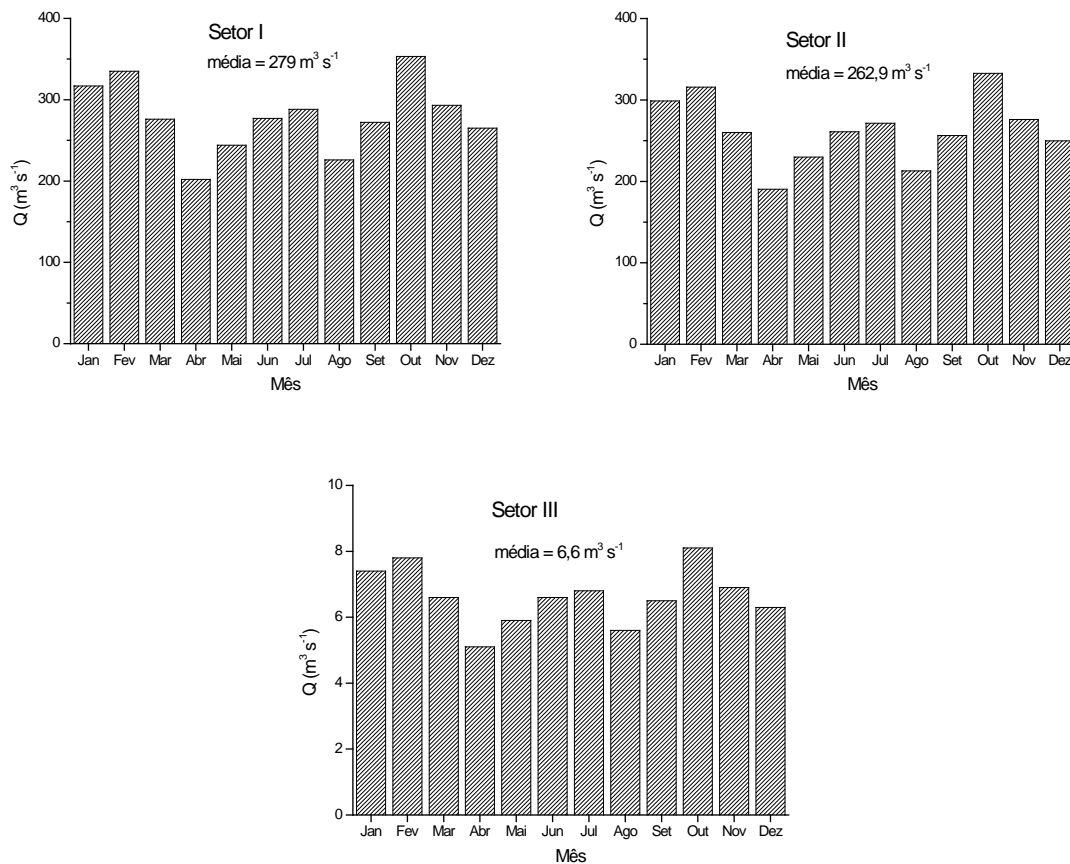


Figura 2 - Vazões médias mensais de aduções nos Setores I, II e III.

O modelo adotado apresenta algumas características que devem ser consideradas quando da interpretação de seus resultados, dentre elas citam-se: i) o modelo foi desenvolvido para simular a fase de enchimento do reservatório e início da estabilização, sendo que sua representatividade diminui para a fase de operação, tendo em vista que ele não permite simular as variações do nível da água após o enchimento, nem as trocas advectivas derivadas destas variações; ii) o modelo considera cada setor do reservatório como sendo um reator de mistura completa, não reconhecendo, portanto, que as camadas superiores possam apresentar massas de água com características mais favoráveis, nem prevê a estratificação vertical que deverá ocorrer nos meses de primavera, verão e outono (Bianchini Jr. & Perazza, 1991); iii) o modelo não prevê as incorporações dos detritos aos processos degradativos a partir da seqüência de eventos que inclui a submersão e a morte das plantas, mas só a partir da submersão. Ou seja, assim que ocorre a inundação de uma determinada área, os processos de degradação iniciam-se imediatamente; desse modo, em algumas situações, as simulações podem conter resultados que sejam mais

críticos do que o esperado (por exemplo: déficits de OD), pois a defasagem temporal entre submersão e morte da vegetação contribui para a atenuação da velocidade das alterações da qualidade da água. No entanto, a despeito destas limitações, o modelo utilizado fornece, inequivocamente, as tendências das características da qualidade da água do futuro reservatório nos períodos de enchimento e de início da estabilização, principalmente em se tratando de um modelo que se propõe gerar prognósticos para a elaboração de programas de limpeza de bacias de acumulação. A esse respeito, a partir da sua calibração com os experimentos de degradação, dados reais de vazão e de intensidade de remoção de fitomassa, o confronto dos resultados simulados e registrados *in situ* (por inventário limnológico realizado durante o enchimento do reservatório da (AHE) Peixe Angical) permitiu aprovar sua validação (*sensu* Jørgensen, 1994); Bianchini Jr. & Cunha-Santino (2009).

Convém ressaltar ainda que, de modo geral, em todas as simulações efetuadas, admitiu-se que: i) as fitomassas referentes aos fustes e a parte (65%) dos galhos (estruturas comumente retiradas nos desmatamentos convencionais) não deveriam ser consideradas, pois suas degradações só iriam gerar dissolução de nutrientes e demandas de oxigênio numa escala de tempo não compatível com a tratada pelos estudos de enchimento e, portanto, pelo modelo matemático em questão; ii) a quantidade de biomassa vegetal que deveria ser considerada nos "dados de entrada" do modelo se refere ao somatório do carbono facilmente oxidável, proveniente das diferentes frações da fitomassa (folhas, galhos cascas), da serapilheira e da matéria orgânica do solo (MOS); iii) os coeficientes de dissolução e consumo (sob condições aeróbias e anaeróbias) utilizados pelo modelo, resultam de contribuição proporcional de cada substrato (folhas, galhos, cascas, serapilheira e MOS) e seus respectivos coeficientes de reação.

3.1.1. Parametrização do Modelo: Estimativa da Fitomassa

No cálculo da quantidade total de fitomassa facilmente degradável, as tipologias vegetais consideradas foram: formações florestais (32%), capoeiras (20%), áreas úmidas (16%), pastagens (17%), campos sujos/capoeirinha (3%), reflorestamentos (11%) e agricultura (1%); **Tabela 3**. Admitiu-se que as contribuições relativas das estruturas vegetais (folhas, galhos, cascas e serapilheira) por tipologia fossem similares às verificadas em outros estudos ambientais (THEMAG-INVESTCO, 2000). No entanto, as biomassas das formações florestais e de capoeira, assim como as contribuições das suas estruturas vegetais foram estimadas de equações

desenvolvidas para o estado do Paraná. Os teores de carbono dos recursos (folhas: 41,41%; galhos: 44,34%; cascas: 51,35%; serapilheira: 39,47%) foram obtidos de experimento de degradação realizado em laboratório (Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2002), com recursos de formações vegetais do nordeste do Paraná (bacia do rio Ribeira de Iguape).

De acordo com o levantamento realizado (LACTEC/Juris Ambientis, 2009), com relação à vegetação, a bacia do rio do Tibagi possui, de modo geral, sete categorias tipológicas (Tabela 3). A distribuição relativa destas tipologias sugere que esta bacia se caracteriza por possuir consideráveis usos. Para efeito de modelagem matemática as categorias tipológicas (1º. formações florestais: vegetação ripária, floresta de galeria, formações aluviais e de terraços; 2º. capoeiras, 3º áreas úmidas, 4º pastagens, 5º campos sujos, 6º reflorestamentos e 7º campos de agricultura) e suas contribuições relativas foram mantidas.

Tabela 3 - Tipologias vegetais da bacia do rio Tibagi; fonte: LACTEC/Juris Ambientis (2009).

Tipologia	Setor I (%)	Setor II (%)	Setor III (%)	Total (%)	Área (ha)
Capoeiras	6,16	4,26	9,19	20	1651
Áreas úmidas	5,11	10,25	0,90	16	1369
Formações Florestais	17,60	13,51	0,68	32	2676
Pastagens	5,93	3,19	7,69	17	1415
Campos sujos	1,22	0,65	0,93	3	235
Reflorestamentos	5,62	4,28	1,48	11	958
Agricultura	0,20	1,04	0,12	1	115
Total				100	8.420

Com base nos inventários de fitomassa (THEMAG-REDE-FURNAS-ENGEVIX, 2000; THEMAG-INVESTCO, 2000; LACTEC/Juris Ambientis, 2009) foram estimadas as contribuições relativas dos recursos (folhas, galhos, cascas e serapilheira) para as 7 categorias tipológicas. Na seqüência, considerando os coeficientes indicados pelos estudos de degradação da fitomassa (Bianchini Jr. et al., 1998; Bitar et al., 2002; Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2002) foram calculados os teores de carbono orgânico

facilmente oxidável. Os conteúdos de carbono orgânico do solo foram estimados com base em incinerações de amostras de solo e considerando um perfil de 10 cm de profundidade (Bianchini Jr., 1998). Os resultados destes cálculos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Contribuições dos recursos vegetais e da matéria orgânica do solo para o teor de carbono facilmente oxidável (kg m^{-2}); Fontes: THEMAG-INVESTCO (2000); Bianchini Jr. et al. (1998), Bitar et al. (2002); Cunha-Santino & Bianchini Jr. (2002); LACTEC/Juris Ambientis (2009).

Recurso	Setor I (C-oxid. kg m^{-2})	Setor II (C-oxid. kg m^{-2})	Setor III (C-oxid. kg/m^2)	Total (C-oxid. kg m^{-2})
Folhas	0,035	0,030	0,018	0,029
Galhos	0,058	0,050	0,029	0,049
Cascas	0,027	0,023	0,014	0,022
Serapilheira	0,018	0,016	0,009	0,015
Total fitomassa	0,138	0,117	0,070	0,116
Matéria Orgânica Solo	0,028	0,024	0,023	0,026
Total geral	0,167	0,141	0,093	0,142

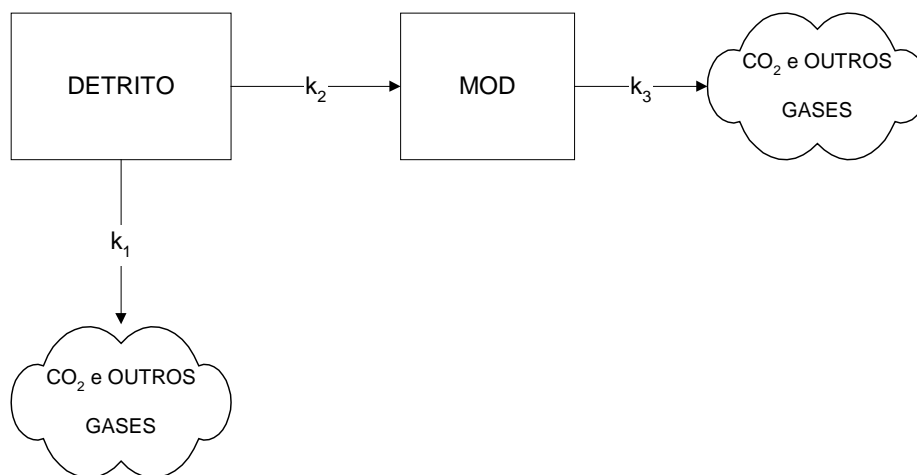
3.1.2. Parametrização do Modelo: Coeficientes de Reação

O modelo utilizado admite que os processos de degradação da fitomassa submersa sejam regidos, em condições aeróbias e anaeróbias, pelos seguintes mecanismos básicos: i) dissolução de formas orgânicas (e.g. carboidratos, polifenóis, proteínas, etc.); ii) oxidação das formas particuladas de matéria orgânica (e.g. celulose, lignina, amido, etc.); iii) oxidação da matéria orgânica dissolvida liberada. Admite, também, que tais processos sejam regidos por cinéticas de primeira ordem, através das quais, as velocidades das reações (de dissolução e oxidação) são proporcionais às concentrações dos substratos. Tais hipóteses permitem definir a seguinte equação:

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A] \quad (1),$$

em que: [A] = concentração de reagente (nesse caso matéria orgânica); k = coeficiente relativo à velocidade de perda de massa de A.

De modo geral, as hipóteses básicas do processo de degradação admitida por esse modelo podem ser esquematizadas a partir do seguinte diagrama:



em que: k_1 = coeficiente de oxidação da matéria orgânica particulada; k_2 = coeficiente de dissolução; k_3 = coeficiente de oxidação da matéria orgânica dissolvida; k_T = coeficiente global de perda de massa da matéria orgânica ($k_1 + k_2$).

Os coeficientes globais de perda de massa (k_T) foram adotados em função dos resultados obtidos de experimentos de degradação (sob condições aeróbias e anaeróbias) de folhas, galhos, cascas e serapilheira. Com base nas médias dos k_T , verificou-se que sob as condições aeróbias, os processos foram cerca de 23% mais rápidos. As estimativas de k_1 (coeficiente de degradação dos detritos fixos ao solo) e k_2 (coeficiente de dissolução da matéria orgânica) foram feitas em função dos rendimentos de compostos mineralizados (CO_2 e outros gases) e de MOD, verificados em tais experimentos. Nestes cálculos foram considerados: a condição do experimento (aeróbio/anaeróbio), o tipo de recurso e sua contribuição relativa na composição dos detritos (folhas: 20,7%; galhos: 34,6%; cascas: 15,8%; serapilheira: 28,9%). O coeficiente de oxidação da MOD (k_3) foi obtido do experimento realizado sob condições aeróbias (Bianchini Jr. et al., 1998); também para o cálculo deste

parâmetro foi considerada a contribuição relativa de cada recurso. Com base nos cálculos mencionados, na Tabela 5 apresentam-se os coeficientes de reação requeridos pelo modelo e os respectivos tempos de meia vida ($T_{1/2}$).

Tabela 5 - Coeficientes de perda de massa dos detritos (condições aeróbias e anaeróbias) adotados nas simulações.

Parâmetro	Proc. Aeróbio (dia ⁻¹)	$T_{1/2}$ (dia)	Proc. Anaeróbio (dia ⁻¹)	$T_{1/2}$ (dia)
k_1	0,756	0,9	0,357	1,9
k_2	0,244	2,8	0,456	1,5
k_3	0,016	43,3	0,000	-
k_N	0,100	6,9	0,100	6,9
k_P	0,150	4,6	0,150	4,6

3.1.3. Parametrização do Modelo: Inventários Limnológicos

Os valores adotados para as concentrações iniciais das variáveis limnológicas (OD, OD_{sat} , DBO, N e P) são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Variáveis limnológicas adotadas nas simulações (condições de contorno).

Variável	Média	Desvio Padrão	Fonte
Temperatura (°C)	21,04	3,85	IAP Código TI-04
OD (mg L ⁻¹)	8,90	0,63	IAP Código TI-04
OD_{sat} (%)	9,00	-	-
DBO (mg L ⁻¹)	1,97	0,21	IAP Código TI-04
Nitrogênio (µg L ⁻¹)	343,6	182,3	IAP Código TI-04
Fósforo total (µg L ⁻¹)	73,3	36,5	IAP Código TI-04
Tempo de residência (dia)	88,7	14,8	-

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERÍSTICAS (FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS) PREVISÍVEIS PARA O RESERVATÓRIO

A qualidade da água em reservatórios depende de vários processos, os quais estão relacionados com as características morfológicas dos sistemas, com os mecanismos de circulação e estratificação térmica e química, com as relações entre as profundidades das zonas eufótica (região iluminada), afótica (região escura) e máxima, com o tempo de residência da água (TR) e com as interações sedimento/água, que são também reguladas pelo grau de oxigênio da coluna d'água e pelo potencial de oxiredução do sedimento (Tundisi, 1985).

O reservatório da UHE Mauá a ser formado na bacia do rio Tibagi, em região subtropical, com formações florestais (vegetação ripária, floresta de galeria, formações aluviais e de terraços, áreas úmidas), capoeiras e campos (sujos e antrópicos) apresentará condições morfométricas específicas que, associadas à degradação da fitomassa remanescente e da matéria orgânica dos solos das áreas de inundação, poderá contribuir para alterar a qualidade da água em relação às condições atuais. As formas dos reservatórios influenciam as dinâmicas dos processos químicos e biológicos nas águas e nos sedimentos, levando-se em conta os efeitos da ação do vento (*fetch*) e dos mecanismos de circulação da água. Nesse contexto, quanto mais recortado for o reservatório (a exemplo do previsto para o da UHE Mauá; Figura 1), maior é a possibilidade de regionalização horizontal em subsistemas com comportamentos distintos.

O tempo de residência da água (ou de retenção hidráulica) é uma das variáveis mais importantes que influencia os processos químicos e biológicos que ocorrem nos reservatórios (Straškraba, 1999). Considera-se que reservatórios com tempos de residência inferiores a duas semanas sejam ecossistemas com comportamentos similares aos de rios (ambientes com elevadas taxas de renovação da água); com TR superiores a duas semanas e menor que um ano sejam ambientes com posição intermediária entre rio e lago; e com TR superiores a um ano, sejam ecossistemas com características bastante próximas a lacustres (Straškraba, 1999). Dependendo da magnitude, o tempo de residência pode induzir condições favoráveis para a ciclagem dos nutrientes e para o desenvolvimento do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas. Quanto maiores os tempos de residência, maiores tenderão a serem as alterações na qualidade da água do reservatório em relação as dos rios originais. No reservatório da UHE Mauá o tempo médio de retenção hidráulica deverá ser relativamente elevado (\approx

89 dias). Com base nas estimativas dos tempos médios de residência foi possível prever que grande parte das alterações na qualidade da água desse reservatório poderá persistir por períodos elevados, devido às taxas baixas de fluxo hidráulico. Em geral, os processos de exportação de nutrientes e de renovação das águas serão favorecidos no período compreendido entre os meses de outubro a fevereiro (Figura 3). Por outro lado, as taxas elevadas de renovação das massas d'água aumentam o grau de dependência da qualidade de água do reservatório as características dos rios tributários (e.g. Tibagi, Barra grande) e as pressões antrópicas do entorno. Nos meses em que os rios tributários apresentam as menores vazões médias (de abril a agosto, Figura 2) os processos de sedimentação e de assimilação biológica dos elementos químicos deverão ser privilegiados. Neste período supõe-se que as características físicas e químicas das águas do reservatório deverão ser mais diferenciadas com relação as dos rios, constituindo este ambiente como um sistema bem diferenciado.

Adotando-se a classificação proposta por Straškraba (1999), que utiliza o TR como variável de referência, verificou-se (Figura 3) que as regiões referentes aos Setores I e III ($\approx 63\%$ da área do reservatório; Tabela 1) deverão apresentar, predominantemente, características de ambientes lênticos (águas com baixa velocidade de corrente). Por outro lado, as regiões do reservatório da UHE Mauá referentes ao Segmento II ($\approx 37\%$ da área; Figura 1), na prática, deverão manter grande parte das características atuais (ambientes lóticos), mesmo nos meses que normalmente as vazões médias são menores (\approx abril a agosto).

A profundidade máxima prevista para o reservatório (ca. 65 m na cota máxima normal de operação) indica a possibilidade da ocorrência periódica de estratificações (térmicas e químicas) em alguns pontos específicos (i.e. regiões profundas, com baixa velocidade de corrente e protegidas da ação do vento). As estratificações químicas poderão ser favorecidas devidas, principalmente, aos processos degradativos, intensificados pelas submersões do solo e da vegetação. Nessas condições, após o enchimento, a recuperação da qualidade da água do reservatório, poderá ser mais lenta do que com a circulação total da massa d'água. Na ocorrência de estratificação, o epilímnio (camada superior) deverá apresentar as condições mais favoráveis no que se refere à reaeração e precipitação de elementos, tais como o ortofosfato. O hipolímnio (estrato profundo), por sua vez, tenderá a manter-se sob condições redutoras; privilegiando os processos anaeróbios e de enriquecimento de elementos químicos para a coluna d'água através da dissolução de elementos desde os sedimentos. Nesse contexto, há que se considerar, ainda, a possibilidade das quebras

das estratificações e, conseqüentemente, as renovações das águas profundas do reservatório da UHE Mauá, devido as baixas temperaturas que normalmente ocorrem no inverno nessa região. Contudo, é possível que esse efeito da temperatura tenha caráter local, tendo em vista a elevada profundidade máxima desse ambiente. Nesse caso, as regiões mais a montante (contidas nos Setores II e III) deverão ser mais susceptíveis aos processos de desestratificação.

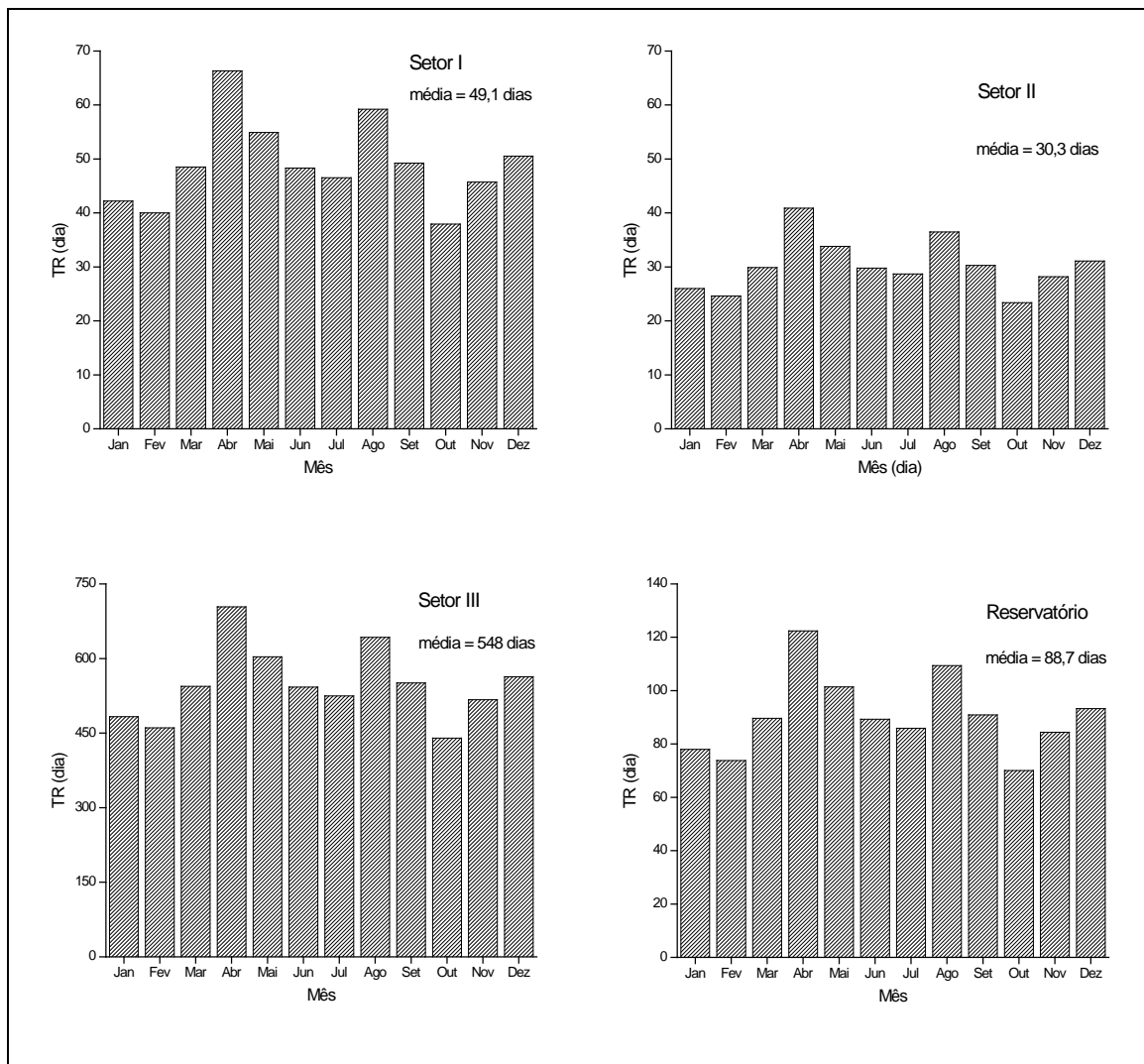


Figura 2 - Variações temporais dos tempos médios de residência estimados para os três setores e para o reservatório como um todo.

Ocorrerá ainda, a submersão de solos e da vegetação remanescente das áreas de inundação que deverão consumir oxigênio devido aos processos de estabilização bioquímica, gerando demandas de oxigênio (DBO). A exemplo do ocorrido em outros reservatórios, dependendo dos teores de matéria orgânica do solo e da quantidade de vegetação remanescente, na fase de enchimento, as concentrações de OD poderão

atingir, em locais específicos, valores baixos, ou mesmo nulos (anaerobiose), induzindo alterações nas estruturas das comunidades aquáticas originais. Nesses casos, as ocorrências de ambientes redutores podem favorecer, ainda, as formações de gases tóxicos e/ou mal cheirosos, assim como a autofertilização, devido à solubilização das formas adsorvidas de fósforo.

Outra consequência da decomposição da matéria orgânica do solo e da fitomassa submersa é a liberação de nutrientes (por exemplo: nitrogênio e fósforo), cujas presenças em concentrações elevadas, associadas a outros fatores tais como: temperatura e circulação vertical podem provocar uma evolução temporal do grau de fertilidade das águas dos reservatórios a níveis eutróficos. Dentre as consequências indesejáveis do processo de eutrofização citam-se: i) as interferências nos usos recreacionais e de abastecimento; ii) a sedimentação da biomassa de algas, intensificando as demandas bentônicas de oxigênio, que por sua vez, pode consumir grande parte do OD do hipólímnio, principalmente nos períodos de estratificação; iii) o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas, interferindo na navegação, aeração e evaporação, além de servir de meio de desenvolvimento de parasitas e mosquitos; iv) o crescimento excessivo de fitoplâncton, que por sua vez, pode excretar algumas substâncias tóxicas. A esse respeito, ressalta-se que as concentrações (médias) atuais de P total do rio Tibagi ($0,073 \text{ mg L}^{-1}$; Tabela 6) já revelam forte pressão antrópica sobre esse recurso hídrico, caracterizando-o como eutrófico (sensu Vollenweider, 1968). No que se refere ao N total, a concentração média permite classificar esse rio como mesotrófico (Sakamoto, 1966; USEPA, 2000). Para ambientes lóticos (i.e. rios) de Classe 2 a Resolução CONAMA 375 (Brasil, 2005) prevê como valor máximo de referência a concentração de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ para o fósforo total e ca. $14,7 \text{ mg L}^{-1}$ para o N total.

Na Figura 3 apresentam-se as alterações de cota do nível de água em função do tempo de enchimento do reservatório da UHE Mauá. Com base nas vazões médias de longo período (1931 a 2004), verifica-se que esse reservatório será formado de modo relativamente lento, tendo em vista a ordem de grandeza das vazões envolvidas. O nível do reservatório deverá atingir a cota 635 no 92º dia após o início do enchimento. Essencialmente esse modelo é utilizado para antever as condições limnológicas do reservatório; de acordo com o estudo que tratou de sua validação (Bianchini Jr. & Cunha-Santino, 2009) foi possível constatar que quanto mais especificada a estratégia da operação de enchimento e quanto mais próximas as

vazões afluentes dos conjuntos de vazões previamente selecionados (e.g. médias mensais de longo período), mais próximos da realidade serão os resultados.

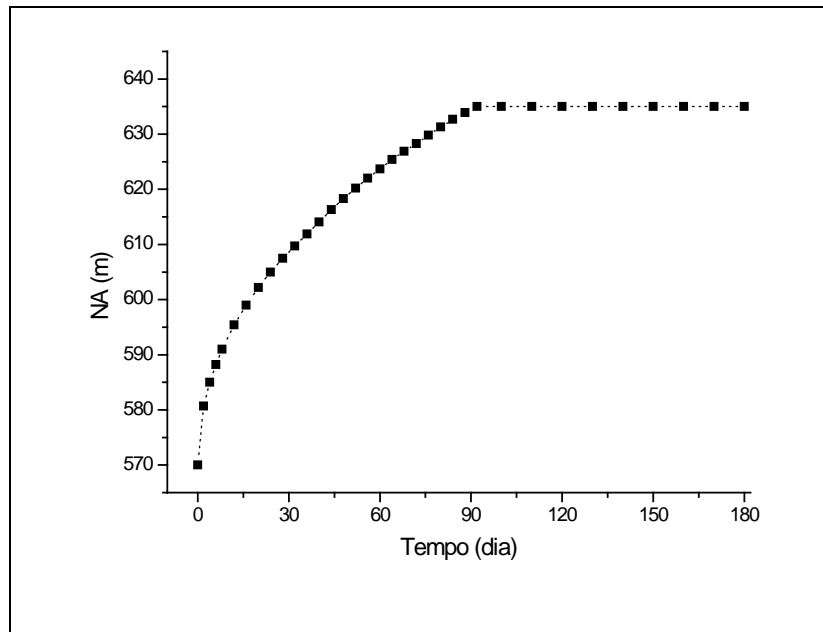


Figura 3 - Variação temporal da elevação de cota durante a operação de enchimento.

Para efeito de avaliação da qualidade da água do reservatório da UHE Mauá serão discutidas, em princípio, as variações temporais (simuladas) das variações temporais das taxas de incorporação da fitomassa e das concentrações de OD, DBO, nitrogênio total e fósforo total; considerando que a operação de enchimento seja iniciada em novembro e sem a remoção prévia da cobertura vegetal existente na área, tomada tal situação como cenário básico (Figura 4, Figura 5 e Figura 6).

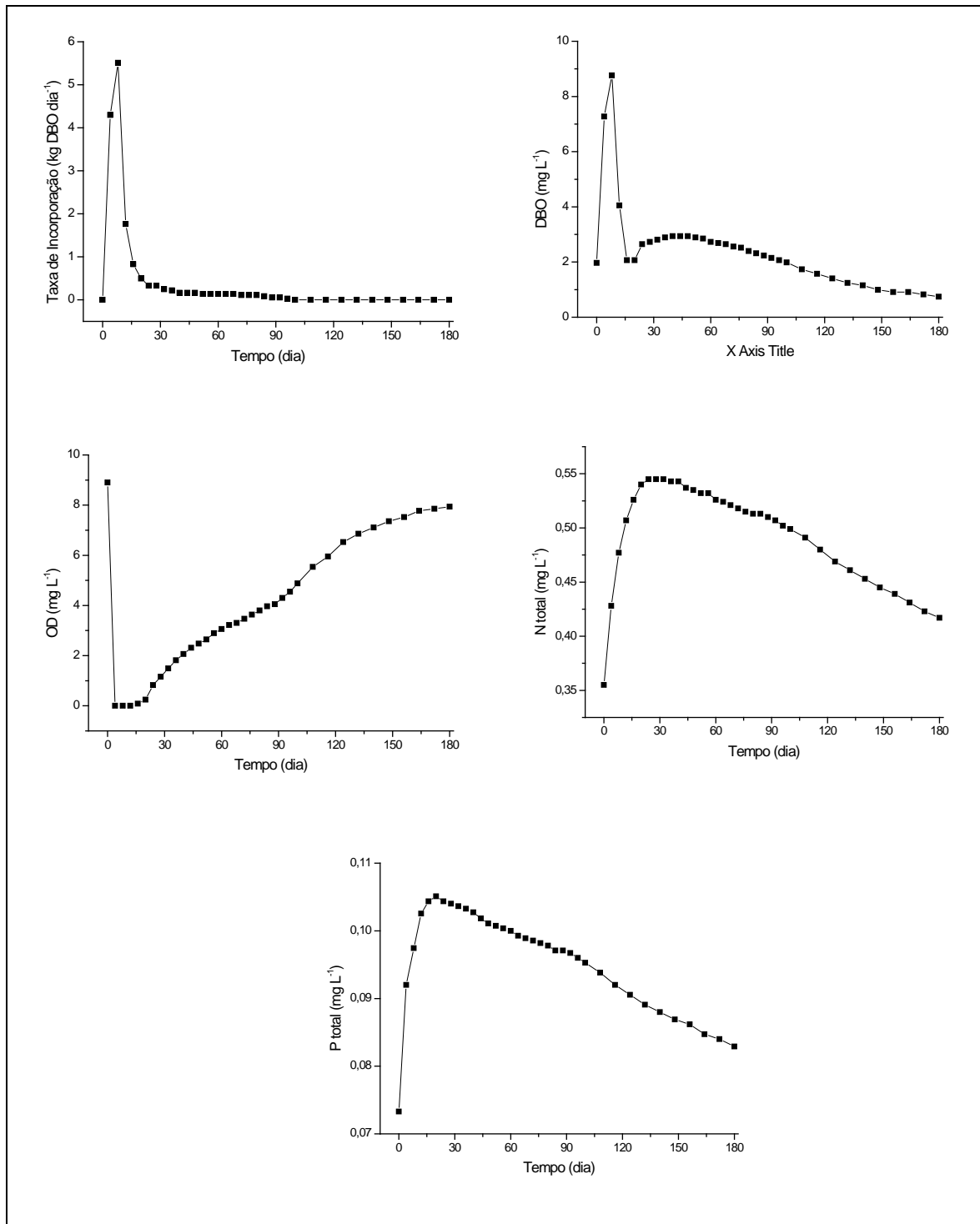


Figura 4 – Variações temporais das taxas de incorporação da biomassa e das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio, de oxigênio dissolvido, de nitrogênio total e fósforo total, na região referente ao Setor I.

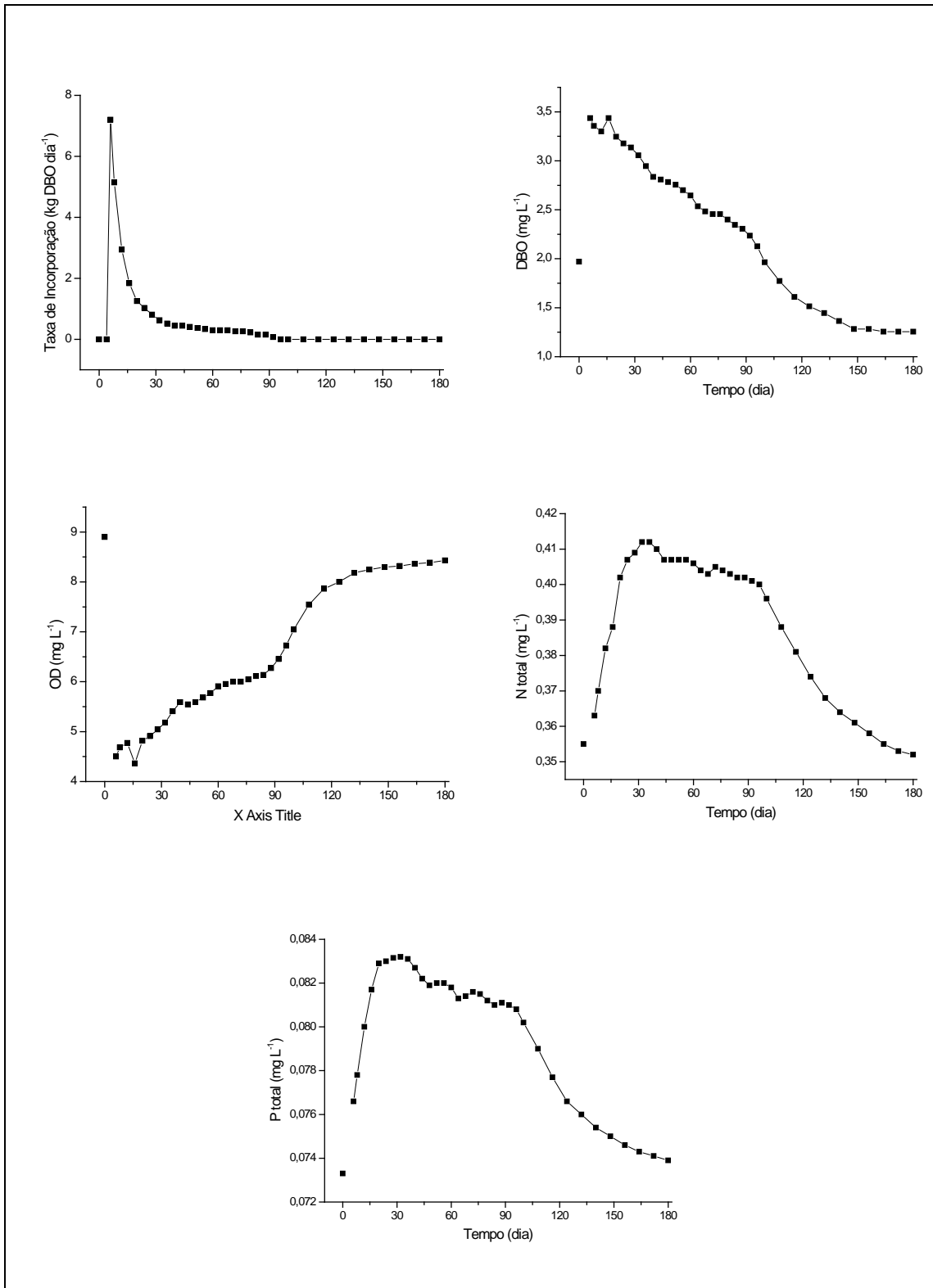


Figura 5 – Variações temporais das taxas de incorporação da biomassa e das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio, de oxigênio dissolvido, de nitrogênio total e fósforo total, na região referente ao Setor II.

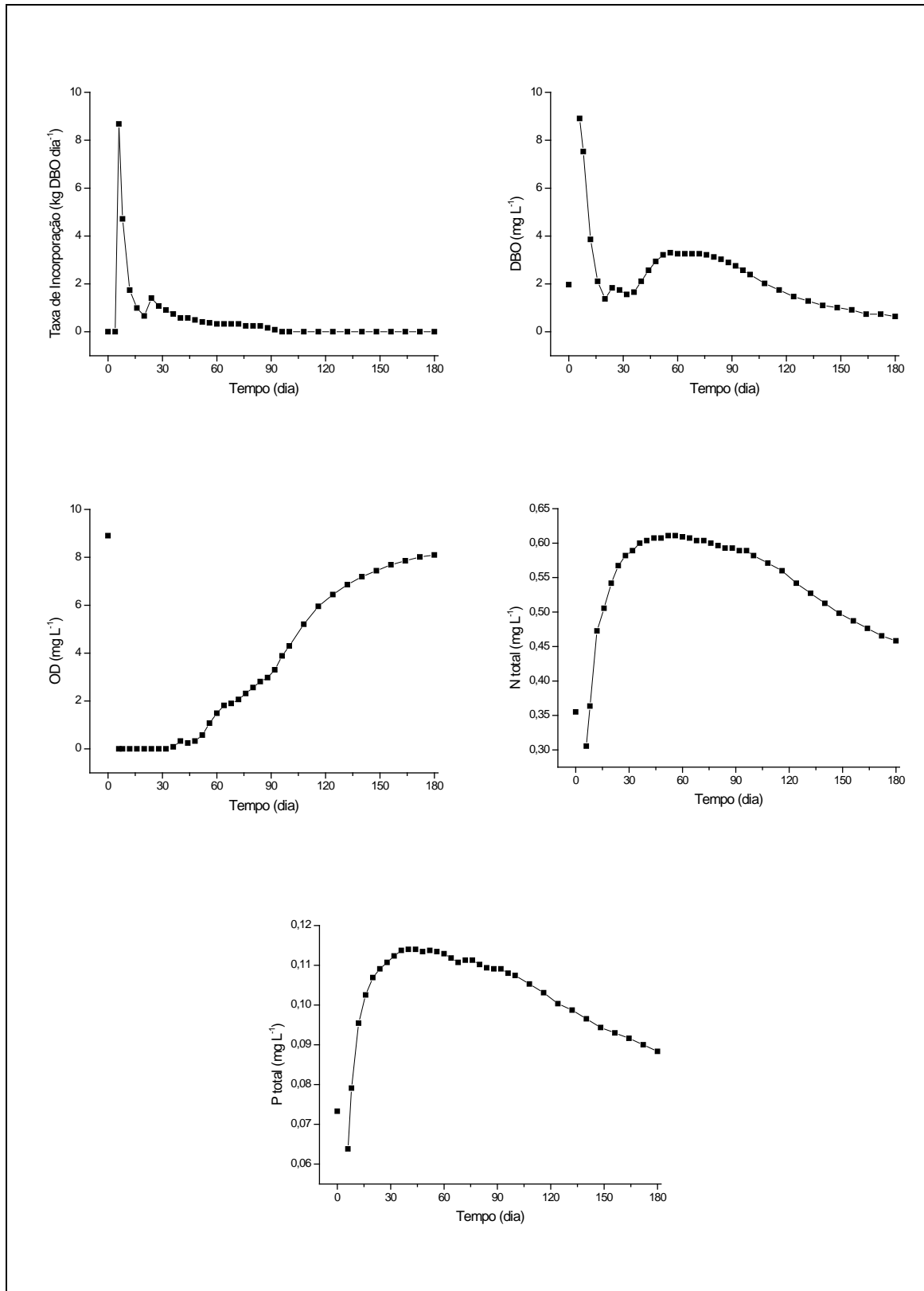


Figura 6 – Variações temporais das taxas de incorporação da biomassa e das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio, de oxigênio dissolvido, de nitrogênio total e fósforo total, na região referente ao Setor III.

Independente da posição do segmento verificou-se a ocorrência de um padrão, no qual as taxas de incorporação da fitomassa (\equiv DBO da vegetação fixa ao solo) foram elevadas no início e em seguida, no decorrer do enchimento, tenderam a decrescer até tornarem-se nulas (incorporação nula devido ao término do enchimento do reservatório). Os incrementos das taxas iniciaram-se primeiramente no Setor I, pois esse comporta a menor cota base (570 mTabela 1), nas demais regiões (Setores II e III) as submersões foram iniciadas, aproximadamente, na mesma época (\approx 4 dias após o início do enchimento), por apresentarem cotas base similares (ca. 580 m).

Verificou-se que as alterações das variáveis límnicas deverão ocorrer com intensidades e prazos distintos, em termos de curto prazo (\approx 3 meses), devido aos tempos médios de residência predominantes em cada setor (Setor I: 49 dias; Setor II: 30 dias e Setor III: 548 dias). Contudo, no geral, as alterações deverão restringir-se ao período de formação, a exemplo do registrado em outros reservatórios (e.g. UHE Serra da Mesa, Aproveitamento Múltiplo Manso e AHE Peixe Angical); De Felippo *et. al.* (1999); Figueiredo & Bianchini Jr. (2008); Bianchini Jr. & Cunha-Santino (2009). Notou-se ainda, que a não remoção da fitomassa poderá acarretar déficits de oxigênio, chegando até a situação temporária de anaerobiose nos Setores I e III (11 e 29 dias, respectivamente). Ressalta-se, novamente, que devido às características do modelo adotado, os valores estimados das concentrações referem-se a situações médias, podendo ocorrer situações de maior gravidade em áreas específicas do reservatório, nas quais a circulação for menor, com maiores tempos de residência. Por outro lado, nas regiões onde os fluxos hidráulicos forem elevados, as condições límnicas tenderão ser menos alteradas que as previstas.

De modo geral, foi possível verificar que a partir da predominância inicial do processo de incorporação da matéria orgânica sobre os de mineralização e exportação, as concentrações de DBO deverão aumentar. Principalmente após o término da operação de enchimento, os processos de perda da matéria orgânica (oxidação e/ou exportação) passarão a predominar, gerando decréscimos nas concentrações de DBO. No período inicial, devido à intensa incorporação e degradação dos detritos, foi possível prever que, as concentrações de oxigênio dissolvido deverão decrescer, gerando em algumas regiões do reservatório (Setores I e III) períodos curtos de anaerobiose. Os períodos de baixas concentrações de oxigênio dissolvido (anoxia e anaerobiose) deverão ser concomitantes aos de maiores concentrações de DBO (Figura 4, Figura 5 e Figura 6).

Após o período de supremacia dos processos de consumo de oxigênio (decomposição das estruturas frágeis da vegetação e das frações lábeis da matéria orgânica do solo) deverá ocorrer uma fase na qual os processos de aeração (e.g. difusão atmosférica, turbilhonamento, fotossíntese) tenderão a predominar e finalmente prevalecerão, restabelecendo as concentrações de oxigênio dissolvido em níveis próximos aos atuais. Segundo a simulação realizada (Figura 4, Figura 5 e Figura 6) os períodos de restabelecimento das concentrações de oxigênio dissolvido deverão iniciar-se, após, aproximadamente, duas semanas do início da operação de enchimento no Setor I e quatro semanas no Setor III. Ainda, segundo a simulação, ao final da operação de enchimento, as concentrações de oxigênio dissolvido já deverão estar oscilando dentro da faixa normal de variação, acima de 5 mg L^{-1} (valor mínimo de referência para águas de Classe 2; Resolução CONAMA nº 357/2005). Comparando-se estas previsões com o verificado em reservatórios formados na região norte (por exemplo: UHE Balbina e Tucuruí), nos quais as baixas concentrações de oxigênio dissolvido e os processos anaeróbios predominaram por vários meses (Moreno, 1996), ressalta-se a condição favorável prevista para o reservatório da UHE Mauá.

O valor mínimo de oxigênio dissolvido tido como aceitável para a preservação da ictiofauna é 4 mg L^{-1} , contudo, a Resolução CONAMA 357/2005 prevê para águas de classe 2 concentração mínima de OD = 5 mg L^{-1} . De acordo com a simulação efetuada (Figura 4, Figura 5 e Figura 6) observou-se que ao se manter a fitomassa, essa condição crítica (concentração de OD $< 5 \text{ mg L}^{-1}$) deverá ser atingida durante a operação de enchimento, principalmente nas regiões do reservatório localizadas nos Setores I e III. No Setor II essa condição deverá ser atingida (concentração mínima = $4,27 \text{ mg L}^{-1}$) por um tempo muito pequeno (ca. 3 semanas). Nesse período de predomínio de condições redutoras (anaerobiose ou anoxia) será possível a intensificação das seguintes ocorrências: i) estratificação térmica vertical, em virtude da ocorrência de estratificação química, com ausência de oxigênio no hipolímnio (camadas profundas do reservatório); ii) aumento da cor e turbidez da água devido ao aparecimento de matéria orgânica dissolvida e microrganismos; iii) elevação da condutividade elétrica e formações de gases tais como: mercaptan, H_2S e CH_4 ; iv) decréscimos dos valores de pH em consequência da oxidação da fitomassa e v) aumento do poder de corrosão da água (Figueiredo & Bianchini Jr., 2008).

As submersões da vegetação e do solo têm como consequência a elevação da DBO, na medida em que decomposição e estabilização dos detritos necessitam de oxigênio. As concentrações máximas de DBO obtidas das simulações variaram de 3,5

(Setor II) a $8,9 \text{ mg L}^{-1}$ (Setor III). As concentrações máximas nos Setores I ($8,7 \text{ mg L}^{-1}$) e III ($8,9 \text{ mg L}^{-1}$) podem ser consideradas elevadas para a manutenção de condições favoráveis no corpo d'água. Nesse contexto, a EPA (Environmental Protection Agency - EUA) recomenda 5 mg L^{-1} como valor máximo de DBO. Ainda com base nas concentrações máximas de DBO, através da Resolução nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005) provavelmente este corpo d'água, após este período crítico (até aproximadamente o final do 1º mês) poderá ser classificado, até nos trechos mais afetados, como sendo de Classe 1. Por meio desta classificação estas águas poderão servir: i) para o abastecimento doméstico após tratamento simplificado; ii) proteção das comunidades aquáticas; iii) recreação de contato primário; iv) irrigação e v) à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura).

Similarmente ao previsto para a DBO, as concentrações de nitrogênio total (N-amônio, N-Nitrito, N-nitrato) e de fósforo total tenderão ao incremento no período de incorporação e dissolução dos detritos. Em seguida, devido ao predomínio do processo de exportação, as concentrações destes elementos passarão a diminuir (Figura 4, Figura 5 e Figura 6). No que se refere aos elementos nutrientes, a análise dos resultados indica que todos os segmentos deverão atingir concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo. Adotando-se a classificação proposta por Vollenweider (1968), no que se refere ao fósforo, esta previsão permite classificar o futuro reservatório, durante sua formação, como um ambiente eu-politrófico (P-total: $30\text{-}100 \mu\text{g L}^{-1}$). Utilizando-se a classificação que emprega as concentrações de nitrogênio total (Sakamoto, 1966) se caracterizará os Setores I e III, nesta época, como eutrófico (N-total: acima de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$); por sua vez, o Setor II será caracterizado como mesotrófico. É importante ressaltar que a elevada fertilidade prevista para esse reservatório está basicamente relacionada com as atuais características químicas do rio Tibagi. Os incrementos das concentrações de N e P da submersão da fitomassa e do solo estarão restritos ao período de formação do reservatório; segundo simulações de longo prazo (*i.e.* 1 ano), as concentrações de N e P deverão voltar aos níveis atuais depois de 4 a 6 meses da formação. As elevadas concentrações previstas, principalmente as de fósforo, indicam a possibilidade de florescimentos de algas e de macrófitas aquáticas na época de enchimento, tendo em vista que a formação do reservatório deverá ocorrer no verão, quando a temperatura mais alta favorece o desenvolvimento desses organismos (Menezes, 1984; Camargo & Esteves, 1995; Barbosa et. al., 1995).

Em particular para as macrófitas aquáticas, nos reservatórios brasileiros de grande porte, tais como: Tucuruí e Balbina observaram-se os aparecimentos de espécies flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Salvinia* sp, *Pistia stratiotes*, etc.) e as expansões de suas populações, em função da eutrofização. Constatou-se, também, a importância dos troncos emergentes como ancoradouro das plantas e dos detritos da vegetação submersa no suprimento de nutrientes para a formação e manutenção dos “bancos” de macrófitas (Paiva & Salles, 1977). Por outro lado, este ambiente favorece o desenvolvimento de espécies de peixes (refúgio e alimentação) e a nidificação de aves e constituiu-se em rotas de fuga de animais durante a operação de enchimento. Da mesma forma, nas regiões de transição para clima subtropical, as plantas aquáticas encontram condições favoráveis para a proliferação, a exemplo do observado em reservatórios eutróficos do estado de São Paulo, tais como o de Salto Grande (Americana) e a represa Billings (S. Paulo).

Devido às atuais concentrações de nitrogênio e fósforo do rio Tibagi, as simulações indicaram que, após o período crítico (durante o enchimento) as águas do reservatório tenderão apresentar declínio acentuado no grau de trofia devido às perdas de matéria orgânica e de nutrientes por exportação, (Figura 4, Figura 5 e Figura 6). Dependendo da temperatura, as condições previstas como predominantes para o reservatório da UHE Mauá, poderão favorecer o crescimento excessivo das macrófitas aquáticas, embora tais florecimentos sejam mais esperados na época da formação do reservatório (devido à lixiviação do solo e dos detritos). No entanto, os florecimentos (de algas e macrófitas aquáticas) são normalmente eventos temporários, principalmente se evitadas as aduções externas de nutrientes. Nesse contexto, o reservatório de Tucuruí que chegou a apresentar em 1986 (após dois anos da sua formação) 38,1% de sua área coberta pelas plantas aquáticas apresenta atualmente, cerca de 0,1%. Contribuíram para a ocorrência deste decréscimo, as baixas concentrações de nutrientes do rio Tocantins e as baixas pressões antrópicas nas cercanias do reservatório (Froelich, S. com. pessoal).

Na ausência de desmatamento (nos termos adotados neste estudo, ou seja, a remoção das folhas, galhos finos, cascas e serapilheira), os resultados indicam que as regiões mais a montante do reservatório (Setor II) deverão sofrer as menores alterações e se recuperarão mais rapidamente. Possivelmente, nestas regiões, não ocorrerão períodos de anaerobiose ($OD = 0 \text{ mg L}^{-1}$). Em termos de área, previu-se que estas condições favoráveis deverão ocorrer em cerca de 37% do reservatório (Setor II).

Na ausência de remoção da fitomassa, as concentrações de DBO e OD, nos trechos mais próximos à barragem (representados pelo Setor I) deverão apresentar valores desfavoráveis, ultrapassando os limites previstos na Resolução Nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005) para rios de Classe 2, por períodos que variarão de 8 (DBO > 5 mg L⁻¹) a ca. 96 dias (OD < 5 mg L⁻¹). Contudo, a concentração de 4 mg L⁻¹ para o OD, embora abaixo da recomendada pelo CONAMA (5 mg L⁻¹), é considerada tolerável para várias espécies de peixes. As simulações mostraram também que além da degradação da fitomassa, haverá nesta região (Setor I), aduções de nutrientes e de matéria orgânica dissolvida das regiões de montante (rio Barra Grande: Setor III e Tibagi: Setor II). Tais contribuições são esperadas e são típicas dos processos hidrodinâmicos dos reservatórios. Desse modo, as cargas orgânicas geradas nas regiões de montante acabarão incrementando as pressões sobre as concentrações de oxigênio dissolvido nos trechos mais a jusante. Assim, parte dos incrementos das concentrações de DBO, N e P e da depleção dos teores de OD que deverão ocorrer no Setor I se deverão ao transporte de nutrientes e de matéria orgânica dos trechos a montante. Nesse contexto, os resultados obtidos sugerem a possível ocorrência de um gradiente longitudinal; tendo os segmentos mais a montante, as condições mais favoráveis de recuperação das concentrações de OD (menores períodos de anaerobiose e de OD < 5 mg L⁻¹). A análise dos resultados apresentados por meio das Figura 4, Figura 5 e Figura 6 corrobora esta hipótese de formação de gradiente longitudinal no reservatório UHE Mauá. Nesse caso é possível verificar a tendência de incremento das concentrações máximas de DBO, N, P e dos períodos de anaerobiose e de OD < 5 mg L⁻¹ do Setor II para o I.

4.2. DESMATAMENTO

O desmatamento da bacia de inundação é uma das alternativas freqüentemente sugeridas para a minimização dos impactos na qualidade da água de futuros reservatórios. Contudo, poucos são os reservatórios já implantados em que essa alternativa foi empregada adequadamente, aos níveis necessários para se obter condições límnicas mais favoráveis. Em geral, pequenas áreas próximas das barragens têm sido objeto de ações de desmatamento, com outras finalidades que não a melhoria da qualidade da água. As dificuldades encontradas na operacionalização do desmatamento em tempo hábil são citadas, freqüentemente, como os motivos que inviabilizam as limpezas das áreas de inundação. Outro aspecto importante é o poder de recomposição da vegetação (por exemplo: as rebrotas, as germinações de gramíneas e os crescimentos de pequenos arbustos). Os esforços de desmatamento poderão ser minimizados caso não sejam empregadas técnicas específicas para o controle dos processos de recomposição vegetal, principalmente no que se refere ao crescimento de gramíneas.

Com relação às gramíneas, cerca de 80% das pastagens introduzidas nos Cerrados usam espécies do gênero *Brachiaria*, estas espécies apresentam alta sazonalidade de produção, tendo o crescimento e qualidade nutritiva bastantes reduzidos no período seco do ano. Outras espécies, do gênero *Cynodon*, têm sido introduzidas nas pastagens do Cerrado, essas gramíneas são adaptadas a clima tropical e subtropical, mantendo alta produção durante o ano todo (Vilela & Alvim, 1998). Nesse contexto, um experimento realizado por Fagundes et al. (2001) no qual utilizaram-se espécies do gênero *Cynodon*, as taxas de acúmulo de matéria orgânica seca variaram entre 27,8 (agosto) a 104,3 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (dezembro). Tendo em vista exemplificar o efeito da recomposição vegetal, cita-se um estudo realizado na região centro-oeste (Goiânia) no qual descreveu-se o crescimento de *Brachiaria brizanta* (Portes et al., 2000). Neste estudo mostrou-se que a biomassa (seca) da parte aérea de *B. brizanta* manteve o crescimento por 117 dias, chegando a 19.580 kg ha⁻¹. Adotando este rendimento como o resultado da recomposição vegetal das áreas desmatadas, calculou-se que se não fossem adotadas medidas de controle, a recomposição vegetal geraria aproximadamente 0,160 kg m⁻² de carbono oxidável. O crescimento da *B. brizanta* potencialmente poderia repor, com sobras, a biomassa retirada (Tabela 4. Desse modo, no caso da execução do desmatamento é necessário programar o controle da recomposição vegetal de modo que o esforço de remoção da matéria orgânica não seja minimizado.

Em vista dessas dificuldades, devem-se buscar meios e informações que possibilitem aperfeiçoar os benefícios sobre a qualidade da água advinda das ações de desmatamento. Nesse contexto, realizaram-se simulações com o objetivo de avaliar, de maneira sistemática algumas alternativas. As hipóteses foram escolhidas de maneira a permitir um balizamento abrangente, da resposta de qualidade da água, considerando, seis situações em relação à cobertura vegetal: sem desmatamento (0%), 20, 40, 60, 80 e 100% de remoção. O termo desmatamento foi aplicado no contexto de remoção da fitomassa da bacia de acumulação e não somente no que se refere à extração de estruturas de interesse econômico (por exemplo: fustes e galhos grossos). Desse modo na referência de, por exemplo, remoção de 20% da fitomassa subentende-se que se retirou, de modo uniforme 20% de todas as estruturas (folhas, galhos, cascas e serapilheira). A matéria orgânica do solo foi considerada em todas as situações. Nessas simulações não foram consideradas, durante a operação de enchimento, ações complementares tais como: queima da vegetação, variações da época de início de enchimento e mudanças nos valores das vazões efluentes. Também foi assumido o controle da reposição da vegetação das áreas desmatadas. Nesse contexto, ressalta-se que nos vegetais decorrentes da recomposição predominam as estruturas mais susceptíveis a degradação (folhas, galhos finos).

Na Figura 7 apresentam-se os efeitos de diferentes graus de desmatamento sobre as variações dos períodos de anaerobiose e de $OD < 5 \text{ mg L}^{-1}$, das concentrações máximas de DBO, de nitrogênio total e de fósforo total. Com base nestes resultados foi possível prever que o desmatamento da área de inundação, ainda que parcial, poderá promover a redução dos efeitos negativos da degradação da fitomassa sobre as características químicas e biológicas das massas d'água (atenuações dos processos de eutrofização e de depleção de oxigênio). No geral, foi possível verificar que o esforço de remoção da fitomassa deverá ser diretamente proporcional as melhorias das condições límnicas, durante a formação e após o enchimento do reservatório.

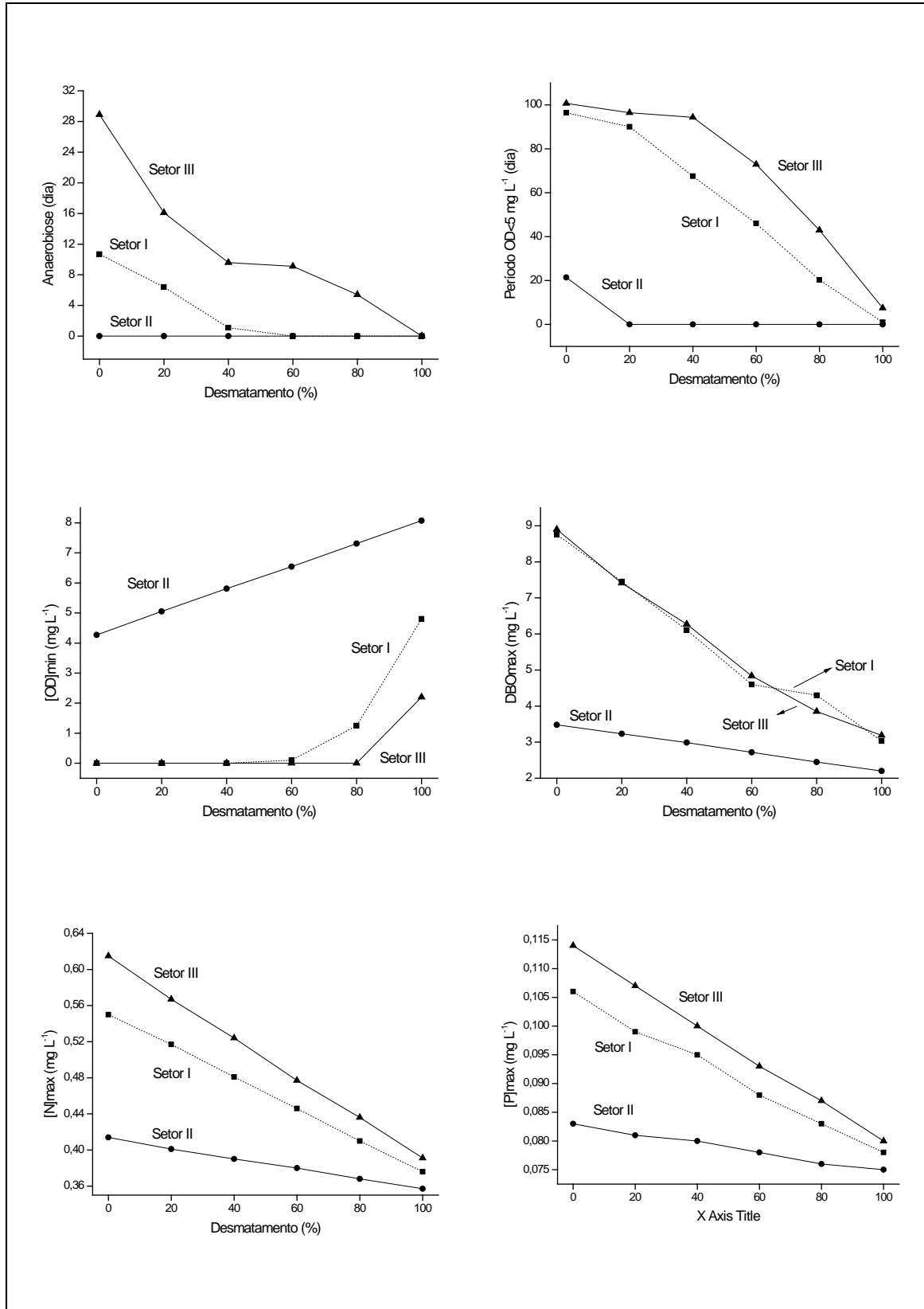


Figura 7 - Efeitos da degradação da fitomassa remanescente sobre os períodos de anaerobiose e de OD < 5 mg L⁻¹ e sobre as concentrações mínimas de OD e máximas de DBO, nitrogênio total e fósforo total.

Devido à magnitude das vazões que o reservatório da UHE Mauá estará submetido durante a sua formação e aos detritos presentes serem relativamente escassos e constituírem-se de estruturas lábeis (muito reativas), previu-se, com relação às alterações da qualidade da água, que esse reservatório apresentará condições muito favoráveis; tendo em vista que os impactos esperados são de pouca duração e restritos, principalmente, ao período da operação de enchimento (Figura 5 a Figura 7). Contudo, ao analisar os resultados (Figura 7) verificou-se que para atenuar brandamente parte das alterações previstas (por exemplo: diminuir em alguns dias o período de anaerobiose), desmatamentos que envolveriam extensas áreas seriam necessários. Nesse contexto, para eliminar o tempo de anaerobiose (11 dias) do Setor I seria necessário desmatar cerca de 60% da área desta região ($\approx 34,5 \text{ km}^2$); no Setor III ($18,4 \text{ km}^2$) seria necessário promover a remoção total da fitomassa. Diante da tendência verificada, notou-se que as ações de desmatamento, em geral, poderão não ser muito eficazes na atenuação/eliminação dos impactos previstos. Considerando, ainda, o tempo reduzido que se previu (com simulações complementares) para que as concentrações de N e P voltassem às condições iniciais (entre 4 e 6 meses após a formação do reservatório), a limpeza da bacia de acumulação também não se apresentou como processo atrativo para evitar a eutrofização.

As simulações sugeriram que as reduções dos períodos com concentrações de OD abaixo de 5 mg L^{-1} deverão ser pouco significativas frente às intensidades dos desmatamentos. Observou-se, também, que as concentrações máximas de DBO somente estariam próximas dos níveis menos prejudiciais ($\text{DBO} < 5 \text{ mg L}^{-1}$) no caso das remoções de fitomassa serem superiores a 60% nos Setores I e III. É provável que as concentrações de DBO tenham variando com valores elevados devido à predominância de estruturas frágeis na composição dos detritos. Nesse caso, em média, a soma dos valores correspondentes as folhas, serapilheira e matéria orgânica do solo correspondeu a 50,6% dos detritos (Tabela 4) e os processos de oxidação destas estruturas, durante a decomposição, normalmente caracterizam-se por possuírem coeficientes de reação elevados (Bianchini Jr., 1999).

A exemplo das demais variáveis, os resultados das simulações indicam que os declínios dos valores máximos das concentrações de DBO, nitrogênio e fósforo sejam proporcionais aos esforços de desmatamento. No entanto, face às atenuações verificadas, esses resultados sugerem que em termos de longo prazo (acima de seis meses de formação), as principais características límnicas deste ambiente, no que se

refere a eutrofização e balanço de OD, não deverão estar diretamente relacionadas às ações de remoção da fitomassa, mas as pressões antrópicas do entorno e a qualidade da água dos rios Tibagi e Barra Grande. Com relação a este último aspecto, a região do reservatório referente ao Setor I deverá possuir características mais oligotróficas (Kimmel et al., 1990). Neste caso, os processos de sedimentação e de assimilação/conversão dos nutrientes e da matéria orgânica alóctone detrital ocorrerão principalmente nas regiões de montante. Desse modo é esperado para a região próxima ao corpo central do reservatório: i) menor turbidez, ii) menores taxas de produção primária e iii) maior profundidade da zona eufótica (iluminada). Assim, convém observar, periodicamente e desde o início da formação do reservatório, a instalação e o desenvolvimento de espécies de macrófitas aquáticas submersas na região limnética (\approx Setor I).

De acordo com as atuais concentrações de nitrogênio e fósforo do rio Tibagi, no que se refere a estes elementos nutrientes, as simulações indicaram que independente do grau de desmatamento adotado, após a formação do reservatório (\approx 3 meses) todas as regiões do reservatório deverão caracterizar-se como ambientes eutróficos. O confronto dos resultados apresentados na Figura 7 (esforço de desmatamento *versus* atenuações das concentrações máximas de P e N) com o tempo previsto para o restabelecimento das condições límnicas (Figura 5 a Figura 7) reforça o papel acessório (secundário) das ações de desmatamento. No geral, tais resultados sugerem que as ações de desmatamento sejam implementadas tendo em vista atender demandas específicas do empreendimento (por exemplo: navegação, lazer, questões cênicas, etc.) e não a melhoria da qualidade da água, para a qual, pouco contribuirá. Contudo, diante das intensidades de desmatamentos consideradas na proposta em curso (reduções no Setor I: capoeira 79,3%; formações florestais 98,2% e refloretamento 97%; Setor II: capoeira 29,1%; formações florestais 45,3% e refloretamento 53,1%; Setor III: capoeira 55,6%; formações florestais 88,1% e refloretamento 97,8%) as melhorias das condições límnicas serão significativas. A execução dessa proposta eliminará a anaerobiose em 78% do reservatório (Setores I e II), reduzindo-a a cinco dias no Setor III; assegurará em todo reservatório valores de DBO menores que o estabelecido pelo CONAMA (5 mg L^{-1}) para águas de Classe 2 e reduzirá substancialmente os valores máximos de N e P devidos a degradação da fitomassa (Tabela 7).

Tabela 7 - Efeitos da proposta de desmatamento nas variáveis limnológicas consideradas (DBO, OD, N total e P total; valores de referência da Resolução CONAMA 357 (águas de Classe 2) e concentrações médias do rio Tibagi.

Setor I	ODmin	Anaerob.	OD<5 L ⁻¹ mg	DBOmax	Nmax	Pmax
0	0,00	10,7	96,4	8,76	0,550	0,114
20	0,00	6,4	90,0	7,45	0,517	0,107
40	0,00	1,1	67,5	6,11	0,481	0,100
60	0,10	0,0	46,0	4,60	0,446	0,093
80	1,25	0,0	20,3	4,30	0,410	0,087
100	4,80	0,0	1,0	3,03	0,376	0,080
Proposta	3,16	0,0	15,0	3,63	0,407	0,089
CONAMA	>5,0	0	0	5	14,7	0,030
rio Tibagi*	7,72	0	0	5	0,700	0,157
Setor II	ODmin	Anaerob.	OD<5 mg L ⁻¹	DBOmax	Nmax	Pmax
0	4,27	0,0	21,4	3,48	0,414	0,083
20	5,05	0,0	0,0	3,23	0,401	0,081
40	5,81	0,0	0,0	2,99	0,390	0,080
60	6,54	0,0	0,0	2,72	0,380	0,078
80	7,31	0,0	0,0	2,45	0,368	0,076
100	8,07	0,0	0,0	2,20	0,357	0,075
Proposta	5,92	0,0	0,0	2,87	0,388	0,080
CONAMA	>5,0	0	0	5	14,7	0,050
rio Tibagi*	7,72	0	0	5	0,700	0,157
Setor III	ODmin	Anaerob.	OD<5 mg L ⁻¹	DBOmax	Nmax	Pmax
0	0,0	28,9	100,7	8,90	0,615	0,114
20	0,0	16,1	96,4	7,41	0,567	0,107
40	0,0	9,6	94,3	6,27	0,524	0,100
60	0,0	9,1	72,9	4,84	0,477	0,093

Setor I	ODmin	Anaerob.	OD<5 L ⁻¹	mg	DBOmax	Nmax	Pmax
80	0,0	5,4	42,9		3,85	0,436	0,087
100	2,2	0,0	7,5		3,19	0,391	0,080
Proposta	0,0	5,4	59,2		4,29	0,449	0,089
CONAMA	>5,0	0	0		5	14,7	0,030
rio Tibagi*	7,72	0	0		5	0,700	0,157

(*) Estação Telêmaco Borba; código IAP: TI-04.

3. CONCLUSÕES

De modo geral, com base nas simulações realizadas concluiu-se que:

i) o reservatório da UHE Mauá deverá apresentar duas regiões distintas, com relação à disponibilidade de oxigênio dissolvido: uma mais susceptível aos processos de degradação da matéria orgânica (trecho compreendido entre a região da barragem até a foz do rio Barra Grande - Segmento I; braço do reservatório referente ao rio Barra Grande) e outra, na qual tais processos não deverão afetar a qualidade da água de modo acentuado (trechos do reservatório a montante da foz do rio Barra Grande – Setor II);

ii) a remoção da vegetação possui eficácia diferenciada em relação as diferentes regiões do reservatório. Devido às características hidráulicas do futuro reservatório (diferentes tempos de residência) e as quantidades e propriedades dos detritos, o desmatamento da bacia de acumulação pode ser considerado uma ação acessória (secundária). As áreas referentes ao Setor II e ao remanso do Setor III não deverão ser acentuadamente afetadas, dispensando a remoção da vegetação.

iii) Os desmatamentos deverão ser implementados tendo em vista atender a demandas específicas (por exemplo: navegação, lazer, questões cênicas, etc.) e não a melhoria da qualidade da água, para a qual, pouco contribuirá. Contudo, diante da intensidade, a proposta de desmatamento em curso poderá contribuir significativamente para a melhoria da qualidade da água principalmente na época de formação do reservatório.

iv) Se mantidas as atuais concentrações de nitrogênio e fósforo no rio Tibagi, no futuro, os efeitos da eutrofização poderão se constituir em problemas para o reservatório da UHE Mauá. Considerando somente a fertilização decorrente dos processos de degradação da fitomassa, na época de formação do reservatório a região mais afetada deverá ser a do braço do rio Barra Grande (Setor III) e a menos a do Setor II (região do reservatório a montante da foz do rio Barra Grande).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antonio, R. M.; Bitar, A. L. & Bianchini Jr., I. Consumo de oxigênio na mineralização de folhas, galhos, cascas e serapilheira. *Acta Limnol. Brasil.*, 11(2): 1-16, 1999.

Barbosa, F. R. A.; Bicudo, C. E. M. & Huszar, V. L. M. Phytoplankton studies in Brazil: community structure variation and diversity. *Limnology in Brazil*. (Tundisi J. G.; Bicudo C. E. M., Matsumura-Tundisi, T. eds.). Rio de Janeiro: ABC/SBL. p.19-36, 1995.

Baxter, R. M. & Glaude, P. Environmental effects of dams and impoundments in Canada: experience and prospects. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.*, 205: 1-34, 1980.

Bianchini Jr., I.; Rocha, M. G. B. & Toledo, A. P. P. Estudo do fluxo de detritos a partir da decomposição de macrófitas aquáticas na represa do Lobo (BROA): 1- *Nymphoides indica*. *Limnologia e Manejo de Represas. Série: Monografias em Limnologia*. (Tundisi, J. G. ed.). EESC-USP/CRHEA/ACIESP. vol. I (Tomo 1: 506p.) p.118-138, 1988.

Bianchini Jr., I. & Perazza, M. C. D. Previsão do ciclo anual de temperatura e circulação do futuro reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá. An. VI Sem. Reg. Ecol., São Carlos: UFSCar, 369-389. 1991.

Bianchini Jr., I. The degradation process of organic matter in reservoirs. *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. (Rosa, L. P. & dos Santos, M. A. eds.). Energy Planning Program. Rio de Janeiro: COPPE Report/Ed. Tecnológica. p.6-27, 1997.

Bianchini Jr., I.; Cunha, M. B. & Bitar, A. L. Projeto Básico Ambiental, Complexo Hidrelétrico Canoas. Subprograma: Modelagem Matemática – I Ensaio de degradação da Fitomassa. São Carlos (SP): FAI-UFSCar/CESP, (Relatório Técnico) 67p., 1998.

Bianchini Jr., I. Projeto Básico Ambiental, Complexo Hidrelétrico Canoas. Subprograma: Modelagem Matemática – II Avaliações da Qualidade da Água dos Reservatórios. São Carlos (SP): FAI-UFSCar/CESP, (Relatório Técnico) 58p., 1998.

Bianchini Jr., I. Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. *Perspectivas da Limnologia no Brasil*. (Pompêo, M. L. M. ed.). São Luís: Gráfica e Editora União. p.21-44, 1999.

Bianchini Jr., I. & Cunha-Santino, M. B. Calibração da modelagem matemática de simulação de processos de degradação da fitomassa e seus efeitos sobre a qualidade de água do reservatório do AHE Peixe Angical. São Carlos (SP): FAI-UFSCar/INVESTCO, (Relatório técnico) 39p., 2009.

Bitar, A. L.; Antonio, R. M. & Bianchini Jr., I. Degradação anaeróbia de folhas, galhos, cascas e serapilheira. *Acta Limnol. Brasil.*, 14(2): 17-26, 2002.

Brasil Leis, decretos, etc. Resolução nº 357, de 17 março de 20056. *Diário Oficial da União*, 18 mar. 2005.

Camargo, A. F. M. & Esteves, F. de A. Biomass and productivity of aquatic macrophytes in Brazilian lacustrine ecosystems. Limnology in Brazil. (Tundisi J. G.; Bicudo C. E. M., Matsumura-Tundisi, T. eds.). Rio de Janeiro: ABC/SBL. p.137-149, 1995.

Chapra, S. C. & Reckhow, K. H. Engineering Approaches for Lake Management. Vol. 2: Mechanistic Modeling. Woburn: Butterworth/Ann Arbor. 492p., 1983.

Cunha-Santino, M. B. & Bianchini Jr., I. Estequiometria da decomposição aeróbia de galhos, cascas serapilheira e folhas. Recursos Hidroenergéticos: Usos, Impactos e Planejamento Integrado. Série: Ciências da Engenharia Ambiental, vol. 1 (Espíndola, E. L. G., Mauad, F. F., Schalch, V., Rocha, O., Felicidade, N., Rietzler, A., C. eds.). São Carlos: Rima. p. 43-56, 2002.

Davis, M. L. & Cornwell, D. A. Introduction to Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill. 822p., 1991.

De Fellippo, R.; Gomes, E. I.; Lenz-César, J.; Soares, C. B. P. & Menezes, C. F. S. As alterações na qualidade da água durante o enchimento do reservatório da UHE Serra da Mesa – GO. Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais. (Henry, R. Ed.). Botucatu: FAPESP/FUNDBIO. P. 321-346, 1999.

Esteves, F. de A. & Barbosa, F. A. R. Eutrofização artificial. A doença dos lagos. *Ciênc. Hoje* 27, p.56-61, 1986.

Fagundes, J. L.; Silva, S. C.; Pedreira, C. G. S.; Carnevalli, R. A.; Carvalho, C. A. B.; Sbrissia, A. F. & Pinto, L. F. M. Índice de área foliar, coeficiente de extinção luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob lotação contínua. *Pesq. agropec. bras.* 36(1): 187-195, 2001.

Figueiredo, D. M & Bianchini Jr., I. Limnological patterns of the filling and stabilization phases in the Manso multiple-use reservoir (MT). *Acta Limnol. Bras.* 20(4):277-290, 2008.

Gale, P. M.; Reddy, K. R. & Graetz, D. A. Mineralization of sediment organic matter under anoxic conditions. *J. Environ. Qual.*, 21: 394-400, 1992.

Garzon, C. E. Water quality in hydroelectric projects: considerations for planning in tropical forest regions. *The World Bank Tech. Pap.*, 20: 1-33, 1984.

Hespanhol, I. Impactos ambientais por reservatórios de água: o caso particular da vegetação inundada. *Rev. Politécnica*, 183: 16-20, 1984.

Jewell, W. J. Aquatic weed decay: dissolved oxygen utilization and nitrogen and phosphorus regeneration. *J. Wat. Poll. Contr. Fed.*, 43: 1457-1467, 1971.

LACTEC/Juris Ambientis Programa de Desmatamento e Limpeza do Reservatório da Usina Hidrelétrica Mauá. Curitiba (Relatório Técnico), 2009.

Kimmel, B. L.; Lind, O. T. & Paulson L. J. Reservoir primary production. Reservoir Limnology – Ecological perspectives. (Thornton, K. W.; Kimmell, B. L. & Payne, F. E. eds.) New York: J. Wiley & Sons. p.136-193, 1990.

Lush, D. L. & Hynes, H. B. N. The formation of particles in freshwater leacheates of dead leaves. *Limnol. Oceanogr.*, 18: 968-977, 1973.

Menezes, C. F. S. Biomassa e produção primária de três espécies de macrófitas aquáticas da represa do Lobo (Broa), SP. São Carlos (SP): UFSCar, 253p. (dissertação), 1984.

Moore Jr., P. A.; Reddy, K. R. & Graetz, D. A. Nutrient transformations in sediments influenced by oxygen supply. *J. Environ. Qual.*, 21: 387-393, 1992.

Moreno, I. H. Estrutura da comunidade planctônica do reservatório da UHE-Balbina (Floresta tropical úmida - Amazonas) e sua relação com as condições limnológicas apresentadas na fase de enchimento e pós-enchimento (1987-1990). São Carlos (SP): UFSCar, 237p. (tese), 1996.

NAS - National Academy of Sciences. Methane Generation from Human, Animal and Agricultural wastes. 2nd ed. Washington: National Research Council, 131p., 1981.

Paiva, M. P. & Salles, P. V. Desmatamento de represas hidrelétricas no Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 28p. (Relatório Técnico), 1977.

Ploskey, G. R. Impacts of terrestrial vegetation and preimpoundment clearing on reservoir ecology and fisheries in USA and Canada. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 258: 1-35, 1985.

Portes, T. A.; Carvalho, S. I. C.; Oliveira, I. P. & Kluthcouski, J. Análise do crescimento de cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. *Pesq. agropec. bras.* 35(7): 1349-1358, 2000.

Saia, F. T. & Bianchini Jr., I., Modelagem do crescimento e senescência de *Salvinia auriculata* em condições de laboratório. Na. VII Sem. Reg. Ecol., Vol. 3. São Carlos:UFSCar, 1331-1342. 1998.

Sakamoto, M. The chlorophyll amount in the eutrophic zone in some japanese lakes and its significance in the photosynthetic production of phytoplankton communities. *Bot. Mag., Tokyo*, 29: 932-933, 1966.

Straškraba, M. Retention time as a key variable of reservoir limnology. Theoretical reservoir ecology and its application. (Tundisi, J. G.; Straškraba, M. eds.). São Carlos:

International Institute of Ecology/Brazilian Academy of Sciences/Backhuys Publishers. p. 385-410, 1999.

THEMAG-INVESTCO Estudo de Impacto Ambiental - Usina Hidrelétrica Lajeado - Revisão dos prognósticos da qualidade da água. 6177-01-GL-820-RT-06667. 26p., 2000.

THEMAG-REDE-FURNAS-ENGEVIX EIA/RIMA - Aproveitamento Hidrelétrico Peixe. Volume 5 - Avaliação de Impactos, 2000.

Thomann, R. V. & Müller, J. A. Principles of Surface Water Quality Modeling and Control. New York: Harper & Row Publishers, 644p., 1987.

Tundisi, J. G. Construção de reservatórios e previsão de impactos ambientais no baixo Tietê: problemas limnológicos. *Biogeografia*, 13: 1-19, 1978.

Tundisi, J. G. Represas artificiais: perspectivas para o controle e manejo da qualidade da água para usos múltiplos. An. VI Simp. Bras. Hidrolog. e Rec. Hídricos. São Paulo (SP), 1985.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. National nutrient guidance documents: lakes and reservoirs. USEPA - 822-F-00-02, 2000.

Vilela, D., Alvim, M. J. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: Simpósio Sobre Manejo Da Pastagem, 15., 1998, Piracicaba. *Anais ...:FEALQ*, p. 23-54,1998.

Vollenweider, R. A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lake and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris: Tech. Report. Water Management Research OECD, 159p., 1968.

Watanabe, S. (org.) Glossário de Ecologia. 2ª ed. ACIESP: 103. 352p.,1997.

Wetzel, R. G. Limnology. Philadelphia: Saunders College Publishing, 860p., 1983.

7. ANEXOS

7.1. Dados de Entrada

```

1***** PROGRAMA DESMATAMENTO - UHE MAUA          *****
***** CECS                                         *****
***** UHE MAUA                                     *****
  
```

```

*** NUMERO DE SEGMENTOS =                3
*** COTA DA CURVA DE NIVEL BASE =        570.0 M
*** INTERVALO ENTRE CURVAS DE NIVEL =    11.0 M
*** COTA DE ENCHIMENTO =                 635.0 M
  
```

*** DADOS GERAIS DOS SEGMENTOS EM CONDICÕES DE RIO ***

SEG	COTA (M)	AREA (M**2)	VOLUME (M**3)	COMPRIM. (M)	VAZ.EXT. (M**3/S)	FAIXA NRO.	N.SEGM. LIMIT.	SEGMENTOS LIMITANTES
1	570.1	.13E+07	.19E+07	.20E+05	10.0	1 2	2 3	
2	580.1	.85E+05	.60E+06	.43E+05	9.0	1 1	1	
3	580.5	.63E+05	.20E+06	.11E+05	1.0	1 1	1	

*** DADOS DOS SEGMENTOS POR FAIXAS DE COTAS

SEGMENTO 1

COTA (M)	AREA (M**2)	D-AREA/D-H (M)	VOLUME (M**3)	DENS. VEG. (GR-C/M**2)
570.0	1.32E+06		1.90E+06	
		5.33E+05		167.0
581.0	7.19E+06		4.87E+07	
		4.89E+05		167.0
592.0	1.26E+07		1.57E+08	
		4.65E+05		167.0
603.0	1.77E+07		3.24E+08	
		4.89E+05		167.0
614.0	2.31E+07		5.48E+08	
		5.35E+05		167.0
625.0	2.90E+07		8.34E+08	

		5.34E+05		167.0
636.0	3.48E+07		1.18E+09	

SEGMENTO 2

COTA (M)	AREA (M**2)	D-AREA/D-H (M)	VOLUME (M**3)	DENS. VEG. (GR-C/M**2)
570.0	8.54E+04		6.00E+05	
		1.16E+05		141.0
581.0	1.37E+06		8.58E+06	
		2.23E+05		141.0
592.0	3.82E+06		3.71E+07	
		4.01E+05		141.0
603.0	8.22E+06		1.03E+08	
		5.34E+05		141.0
614.0	1.41E+07		2.26E+08	
		6.97E+05		141.0
625.0	2.18E+07		4.23E+08	
		8.61E+05		141.0
636.0	3.12E+07		7.15E+08	

SEGMENTO 3

COTA (M)	AREA (M**2)	D-AREA/D-H (M)	VOLUME (M**3)	DENS. VEG. (GR-C/M**2)
570.0	6.25E+04		2.00E+05	
		2.51E+04		93.0
581.0	3.39E+05		2.41E+06	
		1.05E+05		93.0
592.0	1.49E+06		1.25E+07	
		9.37E+04		93.0
603.0	2.52E+06		3.45E+07	
		3.05E+05		93.0
614.0	5.88E+06		8.07E+07	
		4.90E+05		93.0
625.0	1.13E+07		1.75E+08	
		6.95E+05		93.0
636.0	1.89E+07		3.41E+08	

*** ORDENAMENTO DO CALCULO DAS VAZOES ***

NRO.DE ORDEM SEGMENTO

1	2
2	3

*** VAZAO DE ENTRADA NULA NO SEGMENTO 1

VAZAO DE ENTRADA TOTAL 10.0 M**3/SEG

*** ESPECIFICA-SE UMA VAZAO DE ENTRADA VARIAVEL
NO SEGMENTO 2 CADA 15. DIAS (EM M**3/SEG)

NUMERO DE VALORES LIDOS 24

266.	241.	241.	288.	288.	304.	304.	251.
251.	184.	184.	222.	222.	252.	252.	262.
262.	205.	205.	247.	247.	321.	321.	266.

*** ESPECIFICA-SE UMA VAZAO DE ENTRADA VARIAVEL
NO SEGMENTO 3 CADA 15. DIAS (EM M**3/SEG)

NUMERO DE VALORES LIDOS 24

6.	5.	5.	6.	6.	7.	7.	6.
6.	4.	4.	5.	5.	6.	6.	6.
6.	5.	5.	6.	6.	7.	7.	6.

*** ESPECIFICA-SE UMA VAZAO DE SAIDA CONSTANTE DE 19. M**3/SEG
DURANTE O ENCHIMENTO

DBO BACKGROUND	2.0	2.0	2.0
OD BACKGROUND	8.9	8.9	8.9

P BACKGROUND .3 .3 .3
 N BACKGROUND .1 .1 .1
 CONCENTRACAO DE SATURACAO DO OD 9.0 MG/LT

*** TAXA DE DEGRAD. DA VEGETACAO FIXADA AO SOLO
 EM CONDICoes AEROBICAS .75600 1/DIA
 *** TAXA DE DISSOL. DA MATERIA ORGANICA EM CONDICoes AEROBICAS .24400 1/DIA
 *** TAXA DE DEGRAD. DA DBO EM CONDICoes AEROBICAS .01600 1/DIA
 *** TAXA DE DEGRAD. DA MATERIA ORGANICA EM CONDICoes ANAEROBICAS .35700 1/DIA
 *** TAXA DE DISSOL. DA MATERIA ORGANICA EM CONDICoes ANAEROBICAS .45600 1/DIA
 *** TAXA DE DISSOL. NITROGENIO (AKN) .10000 1/DIA
 *** TAXA DE DISSOL. FOSFORO (AKP) .15000 1/DIA

*** PASSO DE TEMPO STANDARD .0 DIAS
 *** INTERVALO DE TEMPO PARA IMPRESSAO 2.0 DIAS
 *** DURACAO DA SIMULACAO 180.0 DIAS

*** COEFICIENTES DE DISPERSAO (EM M2/SEG)

INTERFACE E
 2 - 1 30.0
 3 - 1 30.0

7.2. Glossário

Adsorção. Retenção de uma substância na superfície de outra.

Advecção. Transporte efetuado (eminentemente no plano horizontal) pelo escoamento.

Aeróbio. Organismo para o qual a presença de oxigênio é indispensável à sua sobrevivência. Antônimo: **Anaeróbio.**

Afluentes. Desde a nascente até o destino final, que pode ser mares ou oceanos, os rios recebem cursos de água chamados de afluentes, podendo ser riachos, riachões e até rios de menor porte.

Afótica. Zona aquática não atingida pela luz solar ou onde não há fotossíntese.

Alóctone. Refere-se a recursos materiais provenientes da parte externa de um ecossistema. Antônimo: **Autóctone.**

Anaeróbio. Meio desoxigenado onde a pressão parcial do oxigênio é inferior ao nível normal da atmosfera. Organismo que não requer oxigênio para viver ou se reproduzir. Antônimo: **Aeróbio.**

Anóxico. Ambiente permanente ou temporariamente sem oxigênio.

Antrópico. Relativo à humanidade, à sociedade humana, à ação do homem. Termo de criação recente, empregado por alguns autores para a qualificar: um dos setores do meio ambiente, o meio antrópico, compreendendo os fatores sociais, econômicos e culturais; um dos subsistemas do sistema ambiental, o subsistema antrópico. Refere-se à ação humana sobre a natureza.

Aproveitamento Hidrelétrico ou Hidroenergético. É o aproveitamento de um curso d'água para produção de energia elétrica, podendo ser feito com ou sem acumulação de água.

Área úmida. Área inundada por água subterrânea ou de superfície com uma frequência suficiente para sustentar vida vegetal ou aquática que requeira condições de saturação do solo. Áreas de pântano, brejo, turfeira ou água, naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias.

Assimilação Microbiológica. Conjunto de fenômenos bioquímicos que se processam nos microrganismos, destinados a regenerar, a partir de substâncias simples, a matéria viva que se gasta durante a fase catabólica do metabolismo.

Autóctone. Formado *in situ*; originário do próprio local onde ocorre atualmente. Sinônimo: indígena. Antônimo: Alóctone.

Bacia. Área extensa e deprimida para onde corre os rios que drenam as áreas adjacentes.

Barragem. Barreira dotada de uma série de comportas ou outros mecanismos de controle, construída transversalmente a um rio, para controlar o nível das águas para canais.

Biótico. Relativo ao bioma ou biota, ou seja, ao conjunto de seres animais e vegetais de uma região; referente a organismos vivos ou produzidos por eles. Antônimo: **Abiótico**. Condição física ou química do ambiente, como a luz, a temperatura, a água, o pH, a salinidade, as rochas, os minerais entre outros componentes. (2) Diz-se dos fatores químicos ou físicos naturais. Os fatores químicos ou incluem elementos inorgânicos básicos, como cálcio (Ca), oxigênio (O), carbono (C), fósforo (P), magnésio (Mg), entre outros, e compostos, como a água (H₂O), o gás carbônico (CO₂) etc. Os fatores físicos incluem umidade, vento, corrente marinha, temperatura, pressão, luminosidade, etc.

Campo cerrado. Sobre um tapete de gramíneas e outras herbáceas surgem árvores e arbustos tortuosos, de cascas grossas.

Campo sujo. Formação com apenas um andar de cobertura vegetal, constituída principalmente de leguminosas, gramíneas e ciperáceas de pequeno porte, inexistindo praticamente formas arbustivas.

Cerrado. (1) Vegetação xerófila dos planaltos com alguma cobertura herbácea. **C. fechado:** aquele em que as árvores estão muito próximas umas das outras. **C. ralo:** aquele em que a distância entre as árvores permite o trânsito de animais. (2) São formados por árvores espaçadas retorcidas, baixas com ramos tortuosos e cascas grossas, rimosas ou gretadas. (3) Tipo de vegetação que ocorre no Planalto Central Brasileiro, em certas áreas da Amazônia e do Nordeste, em terreno geralmente plano, caracterizado por árvores baixas e arbustos espaçados associados e gramíneas, também denominado campo cerrado. (4) Tipo de vegetação que ocorre no Planalto Central Brasileiro e em certas áreas da Amazônia e do Nordeste, em terreno geralmente plano, caracterizado por árvores baixas e arbustos espaçados, associados a gramíneas. As espécies deste tipo de vegetação apresentam troncos e ramos acentuadamente tortuosos e acinzentados. (5) Forma de vegetação xeromórfica com fisionomias diversas, de arbórea-lenhosa, com porte quase florestal, a gramíneo-lenhosa, onde se destacam as espécies de Angico-jacaré (*Piptadenia* sp), Aroeira (*Astronium* sp) Jacarandá (*Machaerium* sp).

Ciclo Biogeoquímico. Representa o processo no qual os elementos químicos são reciclados. Por exemplo, ciclo do carbono, do nitrogênio, do fósforo, etc.

Condutividade Elétrica. Capacidade da água em conduzir corrente elétrica. Relação entre a quantidade de substâncias ionizáveis dissolvidas; varia em função: da concentração

total de substâncias ionizadas, da temperatura, com a mobilidade dos íons, com suas valências e com a concentração relativa de cada íon.

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio. Quantidade de oxigênio de que os organismos necessitam para decompor as substâncias orgânicas; medida para avaliar o potencial poluidor das águas residuais. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é freqüentemente usado e referido como DBO₅. É a forma mais utilizada para estimar a quantidade de matéria orgânica presente num corpo d'água, ou seja, determina-se a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica com a cooperação de bactérias aeróbias. Quanto maior o grau de poluição orgânica maior será a DBO.

Decomposição. Processo de conversão de organismos mortos, ou parte destes, em substâncias orgânicas e inorgânicas, através da ação escalonada de um conjunto de organismos (necrófagos, detritívoros, saprófagos, decompositores e saprófitos propriamente ditos).

Efluentes. São as substâncias líquidas produzidas pela atividade humana, como os esgotos domésticos e os resíduos líquidos e gasosos das indústrias; em geral, lançados em cursos d'água, lago ou aquífero, com ou sem tratamento e com a finalidade de utilizar estes no seu transporte e diluição.

Epilímnio. Camada superficial de um lago, agitada pelo vento, geralmente, rica em oxigênio dissolvido e em fitoplâncton, bem iluminada.

Estratificação Térmica. Processo de aquecimento que tem como conseqüência a formação de camadas (gradientes verticais) com temperaturas diferentes em lagos, represas, águas costeiras ou oceânicas. A estratificação térmica estável por longo período resulta no estabelecimento de três estratos verticais nos lagos: epilímnio, metalímnio e hipolímnio.

Eufótica. Refere-se à superfície superior dos corpos de água, na qual existe penetração dos raios solares que permitem o desenvolvimento de plantas clorofiladas.

Eutrófico. Diz-se de um corpo d'água rico em nutrientes (principalmente: nitrogênio e fósforo) e altamente produtivo.

Eutrofização. É a fertilização da água por recebimento de nutrientes (nitrogênio e fósforo), em excesso pode favorecer as florações de algas e plantas aquáticas.

Fitomassa. Fito: Prefixo que significa planta. **(Bio)massa florestal.** Volume composto pelas folhas, ramos, frutos, troncos e raízes dos diversos vegetais existentes em determinados locais.

Fitoplâncton. Plâncton autotrófico. É o termo utilizado para se referir à comunidade vegetal, microscópica, que flutua livremente nas diversas camadas de água, estando sua distribuição vertical restrita ao interior da zona eutrófica, onde, graças à presença da energia luminosa, promove o processo fotossintético, responsável pela base da cadeia alimentar do meio aquático.

Floresta de galeria. Floresta que se desenvolve ao longo das margens dos rios, servindo-se de sua umidade. É caracterizada por vegetação florestal não contínua.

Formações Aluviais. Depósito de cascalho, areia e argila que se forma junto às margens ou à foz dos rios, proveniente do trabalho de erosão

Foz. Ponto mais baixo no limite de um sistema de drenagem (desembocadura). Boca de descarga de um rio. Este desaguamento pode ser feito num lago, numa lagoa, no mar ou mesmo num outro rio. A forma da foz pode ser classificada em dois tipos: estuário e delta.

Fuste. Região do caule de uma árvore, que vai do coleto (região intermediária entre a raiz e o caule) até as primeiras ramificações desse caule. É a parte do tronco livre de ramificações, suscetível de ser industrializada.

Hipolímnio. Zona profunda de um lago, pouco iluminada ou mesmo inteiramente escura, pobre em fitoplâncton e cuja temperatura varia pouco durante o ano.

Inventário Limnológico. Compreende, entre outras atividades, a análise físico-química da água, ou seja, o exame físico determina as características físicas da água como a cor, turbidez, sabor, odor, temperatura, entre outros, enquanto que as características químicas são determinadas pela presença de substâncias químicas provenientes dos terrenos por onde ela passou ou recebeu de contribuição, como por exemplo o cálcio, ferro, magnésio, etc.

Jusante. Área posterior a outra, tomando-se por base a direção da corrente fluvial pela qual é banhada. Denomina-se a uma área que fica abaixo da outra, ao se considerar a corrente fluvial pela qual é banhada. Costuma-se também empregar a expressão relevo de jusante ao se descrever uma região que está numa posição mais baixa em relação ao ponto considerado. O oposto de jusante é montante. Sentido para onde correm as águas de um curso d'água, vulgarmente chamado de rio abaixo. Lado de uma barragem, represa ou açude que não está em contato com a água represada.

Ictiofauna. Fauna de peixes de uma determinada região.

Iterativo. Processo de resolução (de uma equação, de um problema) mediante uma seqüência finita de operações, em que o objeto de cada uma é o resultado da que a precede.

Lêntico. Ambiente aquático continental em que a massa de água é estacionária, como em lagos ou tanques. Antônimo: **Lótico**.

Lótico. Ambiente aquático continental em que a massa de água flue como em rios, arroios e corredeiras. Antônimo: **Lêntico**.

Límnica. Relativo a ambientes aquáticos continentais como rios, riachos, lagos e lagoas.

Matéria Orgânica do Solo. Refere-se aos compostos orgânicos em diferentes graus de decomposição, originados dos restos de animais e vegetais; no longo prazo resultam na formação de húmus e em elementos minerais.

Macrófitas Aquáticas. Plantas aquáticas fanerógamas e pertencentes ao grupo das plantas superiores vascularizadas; contudo, é usual incluírem-se entre as hidrófitas espécies de macroalgas, pteridófitas e briófitas.

Mineralização. Processo pelo qual elementos combinados em forma orgânica, provenientes de organismos vivos ou mortos, ou ainda sintéticos, são convertidos em formas inorgânicas, para serem úteis ao crescimento das plantas. A mineralização de compostos orgânicos ocorre através da oxidação e metabolização por animais vivos, predominantemente microscópicos.

Modelo de Simulação. Abstração de um sistema baseada em medidas e observações sobre muitos dos seus aspectos, que pretende reduzir sua complexidade sem deixar de prever seu desenvolvimento pleno. Obtido geralmente, através de processamento em computador.

Montante. Ponto que se localiza em posição anterior a outro ponto situado no sentido da corrente fluvial. Rio acima. Antônimo: **Jusante**.

OD - Oxigênio Dissolvido. Os níveis de oxigênio dissolvidos têm papel determinante na capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática. Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção dos processos naturais de autodepuração em sistemas aquáticos e estações de tratamento de esgotos. Com a determinação do teor de oxigênio dissolvido, podem ser avaliados os efeitos dos resíduos oxidáveis sobre as águas receptoras e sobre a eficiência do tratamento dos esgotos, durante o processo de oxidação bioquímica.

Oligotrófico. Ambiente em que há pouca quantidade de elementos nutrientes. Especialmente usado para corpos d'água em que há pequeno suprimento de nutrientes e daí uma pequena produção orgânica.

Plâncton. Comunidade de organismos microscópicos, tanto autótrofos quanto heterótrofos, que vivem em suspensão, flutuando livremente ou com movimentos fracos, sendo arrastados passivamente pelas correntezas.

pH (potencial Hidrogeniônico). é uma escala logarítmica que varia de 0 a 14 indicando se uma determinada substância é ácida ou alcalina. Soluções que apresentam

valores de pH abaixo de 7,0 são ácidos e acima são alcalinos. O valor 7,0 corresponde a uma solução neutra. O aumento da acidez é inversamente proporcional ao valor do pH, isto é uma diminuição do valor pH significa um aumento da acidez, em forma logarítmica.

Qualidade da água. Características químicas, físicas e biológicas da água, relacionadas com o seu uso para um determinado fim. A mesma água pode ser de boa qualidade para um determinado fim e de má qualidade para outro, dependendo de suas características e das exigências requeridas pelo uso específico. A qualidade da água está em relação com os usos múltiplos dos recursos hídricos.

Serapilheira. Camada superficial de solos consistindo de folhas caídas, ramos, caules, cascas e frutos. Equivalente ao horizonte 0 dos solos minerais. Sinônimos: folhedo, folhiço.

Tempo de residência hidráulica ou Tempo de retenção hidráulica. Duração de tempo que a água (ou um elemento químico) permanece em um sistema aquático. Relação entre o volume e vazão em um sistema aquático. Tempo em que o sistema renova toda água nele presente. Sinônimos: tempo de retenção, tempo de detenção.

Terraços. Superfícies horizontais ou levemente inclinadas, constituídas por depósito sedimentar ou superfície topográfica modelada pela erosão fluvial, marinha ou lacustre e limitada por dois declives do mesmo sentido. É, por conseguinte uma banqueta ou patamar interrompendo um declive contínuo. Planície, em regra estreita, que margeia um rio, um lago ou o mar. Os rios, por vezes, são marginados por terraços de vários níveis.

Turbidez. Opacidade da água devido a partículas sólidas em suspensão. Característica de transparência da água, provocada por partículas orgânicas ou inorgânicas em suspensão.

Vegetação Ripária. Matas localizadas ao longo do curso dos rios.