

ESTUDO DE MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AHE TABAJARA

Rio Ji-Paraná, RO.

Responsáveis Técnicos:

Humberto Jacobsen Teixeira

Irineu Bianchini Jr.

Consultores:

Chris J. Berger

Scott A. Wells

Wenwei Xu

São Paulo, outubro de 2017.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DO ESTUDO E DO AHE TABAJARA.....	4
2.1 Região dos Estudos.....	4
2.2 . Características do AHE Tabajara.....	5
3. CONCEITUAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS.....	12
3.1. Modelo Hidráulico	12
3.2. Modelo Matemático de Eutrofização	15
3.2.1 Modelo WASP4 Original	16
3.2.2 Módulo EUTRO4 Modificado	17
3.3. Modelo de simulação CE-QUAL-W2- versão 4.0	24
3.4. Modelo Matemático de Estratificação Térmica	26
4. DADOS BÁSICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM.....	29
4.1 Dados Cartográficos e Topográficos.....	29
4.2 Segmentação do Reservatório	30
4.3 Dados Climáticos	- 33 -
4.4 Caracterização dos Reatores de Mistura Completa	- 37 -
4.5 Vazões Afluentes e Defluentes do Reservatório	- 39 -
4.6 Dados de Qualidade da Água	- 42 -
4.7 Estimativas de Fitomassa.....	- 53 -
4.8 Constantes das Equações Cinéticas.....	- 59 -
4.9 Taxas de Biodegradação da Fitomassa Inundada	- 60 -
5. RESULTADOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA.....	- 61 -
5.1 Calibragem do Modelo Matemático.....	- 61 -
5.2 Tempo de Residência.....	- 64 -
5.3 Apresentação dos Casos Simulados	- 66 -

5.3.1 Apresentação do Cenário 01 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Dezembro	- 68 -
5.3.2 Apresentação do Cenário 02 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Março.....	- 77 -
5.3.3 Apresentação do Cenário 03 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Junho	- 85 -
5.3.4 Apresentação do Cenário 04 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Setembro	- 93 -
5.4 Análise do Perfil de Profundidades	- 101 -
5.5 Modelo de Estratificação Térmica	- 106 -
5.6 Modelagem de Qualidade da Água a Jusante	- 111 -
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	- 118 -
7. DADOS BIBLIOGRÁFICOS	- 122 -

1. INTRODUÇÃO

Esse documento enfoca a avaliação da qualidade da água do futuro reservatório do AHE Tabajara abordado através da aplicação de técnicas de modelagem matemática, onde é analisado o comportamento do reservatório durante as fases de enchimento e estabilização das condições hidrobiológicas.

Com base em simulações de cenários alternativos de enchimento, este estudo trata da redução dos déficits de oxigênio dissolvido e do potencial de eutrofização das águas do reservatório do AHE Tabajara devido à retirada da vegetação, procurando assegurar as características (físicas e químicas) adequadas da água do reservatório.

A identificação, quantificação e atenuação de impactos ambientais têm assumido um significado importante, uma vez que tem sido verificado que os efeitos provocados são acumulativos e que a tomada de decisões tardia implica em custos consideravelmente maiores do que aqueles associados às ações profiláticas, que devem ser executadas nas fases de implantação e de início de operação de um reservatório (Baxter & Glaude, 1980).

Nesse contexto, frequentemente os modelos matemáticos são utilizados em estudos que tratam da qualidade da água de recursos hídricos (i.e. rios, reservatórios, estuários, lagos, lagoas). No caso da formação de reservatórios os modelos têm sido utilizados para a previsão da qualidade da água considerando a degradação da fitomassa (i.e. folhas, galhos, cascas, serapilheira) remanescente. Os modelos matemáticos são também utilizados para auxiliar nas estimativas dos custos de desmatamento, frente a uma condição de qualidade da água previamente estabelecida (e.g. determinação da quantidade de remoção de biomassa para a manutenção das águas do rio represado dentro da classe atual de uso); Garzon (1984).

Embora não seja usual, devido à frequente escassez de informações, nos estudos que tratam dos impactos associados à formação de reservatórios, os modelos matemáticos também podem ser utilizados para a previsão das características hidrodinâmicas do futuro reservatório. O conhecimento de tais características permite a segregação de regiões (subsistemas) que comportarão diferentes características limnológicas (e.g. regime térmico, gradientes horizontais e verticais, regime hidráulico) em função das particularidades inerentes de cada empreendimento. Não obstante, tais simulações podem subsidiar as ações que tratem da administração dos recursos hídricos com vistas a assegurar os usos múltiplos do reservatório.

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 temporária das massas de água e pressões no balanço de oxigênio dissolvido (Ploskey, 1985; Bianchini Jr. & Cunha-Santino, 2011).

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). Nesse 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 com interesse econômico (i.e. fustes e galhos grossos). Em geral, tais simulações consideram os ciclos biogeoquímicos de alguns elementos, dentre os quais: o carbono e o nitrogênio. Desse modo, os modelos matemáticos são para o conhecimento da ciclagem dos elementos nos reservatórios e para subsidiarem tomadas de decisões, no caso da intervenção antrópica sobre estes ambientes.

A quantificação da área a ser desmatada é relevante por ser um procedimento dispendioso e perigoso, que deve constar da planilha de custos dos empreendimentos. Em adição, do ponto de vista ambiental, está 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 (e.g. mortalidade de peixes, formação de gás sulfídrico e de metano, aumento do poder de corrosão da água, etc.), nitrogênio e de fósforo (e.g. aumento da fertilidade da água). De acordo com vários estudos desenvolvidos (Jewell, 1971; Lush & Hynes, 1973; NAS, 1981; Chapra, & Reckhow, 1983; Wetzel, 1983; Esteves & Barbosa, 1986; 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 para abastecimento domiciliar, recreação, irrigação, etc.).

Em relação à qualidade das águas e suas inter-relações com a formação do reservatório são identificadas duas fases:

- Fase de enchimento do reservatório, onde se observa a ocorrência de condições mais críticas em termos de qualidade da água. A biomassa vegetal residente é afogada e se decompõe, liberando uma grande quantidade de compostos orgânicos e nutrientes, com possibilidades de estabelecimento de condições anóxicas. Este processo ocorre até o reservatório alcançar o seu nível operacional, a partir do qual toda a vegetação estará incorporada; e,
- Fase de operação, onde ocorre o consumo de toda a matéria orgânica inundada ao longo do tempo e posterior estabilização das condições bioquímicas do meio aquático. A formação do reservatório propicia um novo equilíbrio ao sistema hídrico, condicionando tempos de residência relativamente elevados e favorecendo a ocorrência de eutrofização. No ciclo de estabilização do regime hidráulico pode ocorrer também a estratificação térmica do reservatório, onde são formados dois reatores bioquímicos distintos, o hipolimnion (estrato inferior) e o epilimnion (estrato superior).

Para representar estes processos, são utilizados modelos de simulação, dentre os quais se destacam os seguintes:

- Modelo hidráulico. Concebido para retratar o processo de circulação da água no reservatório, durante as fases de enchimento e operação. A simulação destes

processos é realizada pelo programa MEKONG, apropriado à modelação de grandes planícies de inundação.

- Modelo Wasp Modificado. O modelo de eutrofização baseia-se fundamentalmente no módulo EUTRO4 do modelo de simulação de qualidade da água WASP4 (Water Quality Analysis Simulation Program) distribuído pela EPA - Environmental Protection Agency, americana, onde o programa original foi adaptado para capacitar a representação do processo de incorporação e biodegradação da matéria vegetal inundada.
- Modelo de simulação CE-QUAL-W2- versão 4.0 (Cole e Wells, 2016), desenvolvido para o ERDC (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia - Engineer Research and Development Center), Laboratório Ambiental, Corpo de Engenheiros da Estação de Pesquisa de Canais (Waterways Experiments Station Corps of Engineers). Utilizado para retratar a espacialização dos resultados da modelagem matemática em perfil de profundidades.
- Modelo de estratificação térmica. Modelo matemático desenvolvido por Huber e Harleman, do “Massachusetts Institute of Technology”, (Huber & Harleman, 1968), e posteriormente aplicado em diversos reservatórios, com significativo sucesso. O modelo utilizado foi concebido com base no programa fonte apresentado em linguagem Fortran constante da publicação “Prediction of the Annual Cycle of Temperature Changes in a Stratified Lake or Reservoir: Mathematical Model and User’s Manual”, desenvolvido por Patrick J. Ryan e Donald R. F. Harleman do MIT – Massachusetts Institute of Technology.

Conforme já apresentado em linhas gerais, os estudos de modelagem matemática do futuro reservatório do AHE Tabajara têm os seguintes objetivos principais:

- Realizar prognóstico da qualidade da água após implantação do AHE Tabajara.
- Fornecer subsídios para possíveis utilizações das águas do futuro reservatório do AHE Tabajara, visando às premissas de usos múltiplos que norteiam as políticas de recursos hídricos no Brasil; e
- Estimar a necessidade de supressão vegetal na fase de implantação do reservatório do AHE Tabajara, de modo a manter condições mínimas para manutenção da biota aquática e da qualidade das águas na fase de enchimento deste reservatório.

2. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DO ESTUDO E DO AHE TABAJARA

2.1 Região dos Estudos

A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná está totalmente contida no estado de Rondônia, região Norte. Limita-se, a leste, com a bacia do rio Roosevelt pelas serras da Providência, Sargento Paixão e Verde e Grande que são também divisores dos estados de Rondônia e Mato Grosso; ao sul, com as bacias dos rios Guaporé e Juruena. O respectivo contorno geográfico se insere no quadrilátero formado pelos meridianos com longitude 63° e 60° O e entre os paralelos com latitude 8° e 13° S.

Em termos setoriais, a bacia do rio Ji-Paraná encontra-se enquadrada em nível federal na Bacia 1 – Bacia Amazônica, Sub-bacia 15 – área de drenagem do rio Madeira. Formado pela confluência dos rios Comemoração e Pimenta Bueno, na altura do paralelo 11° 40' S, o rio Ji-Paraná, com 850 km de extensão, segue a direção sudeste-noroeste até as proximidades de Presidente Médici. A partir daí toma a direção sul-norte até a altura do paralelo 9° S, quando o curso, toma a direção sudeste-noroeste, até desaguar no rio Madeira pela margem esquerda, próximo à localidade de Calama, 180 km a jusante de Porto Velho.

O trecho do rio Ji-Paraná onde se localiza o sítio do AHE Tabajara situa-se aproximadamente a 145 km de sua foz no rio Madeira. A bacia hidrográfica até o local do AHE Tabajara abrange uma extensão territorial de 60.521 km² e álveo cobrindo uma extensão de 814 km.

Clima

A região dos estudos apresenta características de clima Equatorial, mas está próxima a uma faixa de transição para o clima Tropical, nas regiões mais ao sul do Estado de Rondônia.

Assim, o clima é equatorial com transição para o tropical, úmido, com período seco marcante no inverno, três meses de estiagem, quente durante o ano todo com amplitude térmica anual desprezível, principalmente devido à grande insolação que recebe, mas apresenta amplitude térmica diária marcante.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como do tipo Aw. Corresponde ao clima tropical úmido, sem estação fria e com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C. É um clima característico das savanas tropicais das baixas latitudes. Possui uma estação seca acentuada que coincide com o inverno, e apresentam pelo menos um mês com índices pluviométricos inferiores a 60 mm.

Tendo como referência os registros da estação localizada na cidade de Porto Velho, o período chuvoso vai de novembro a abril, e o período seco vai de junho a agosto.

O registro das normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET para Porto Velho indica a média mensal pluviométrica em torno de 200 mm, com mínimo médio mensal de 25 mm no mês de julho e máximo de 325 mm em dezembro.

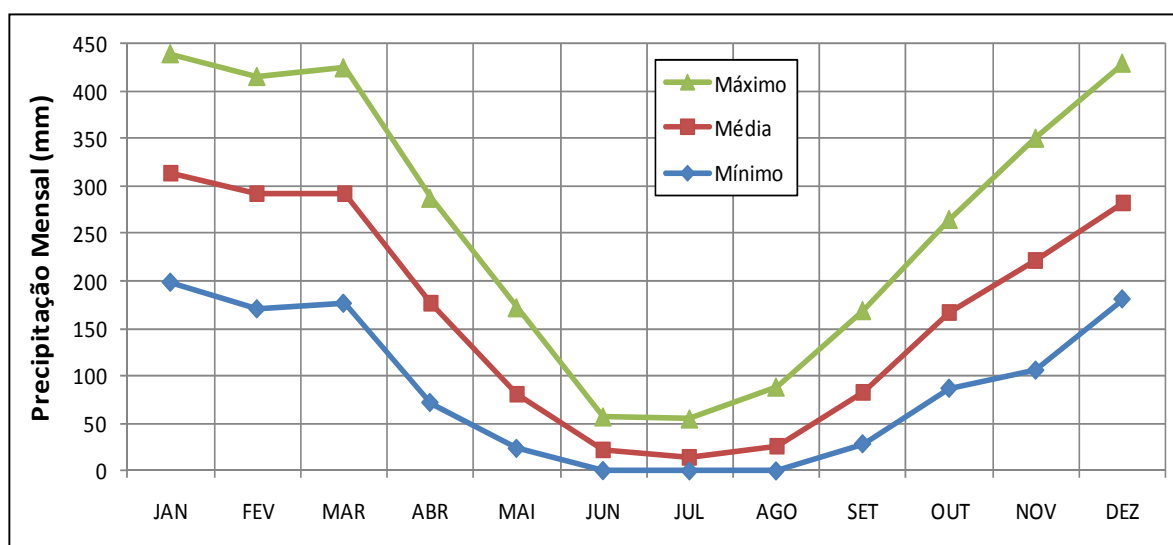
Esse perfil pluviométrico é registrado também na análise pluviométrica efetuada no âmbito dos Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica do AHE Tabajara. A partir de dados disponíveis na bacia, do preenchimento de lacunas e de correlações, esses estudos buscaram obter a chuva equivalente para o setor da bacia hidrográfica a montante da estação Tabajara, estendendo-a para o período de 1931 a 2012, utilizado como referência para os estudos hidráulicos energéticos do empreendimento. As precipitações equivalentes obtidas são apresentadas na Tabela 2.1.1 e na Figura 2.1.1.

Tabela 2.1.1 - Altura de chuva equivalente na bacia até a Estação Tabajara (em mm)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Mínimo	197,9	170,0	175,8	71,8	23,7	0,4	0,0	0,0	28,4	86,7	105,7	180,4	1705
Média	312,7	291,9	292,0	176,8	80,3	21,3	13,9	26,6	82,2	166,8	221,9	282,1	1968
Máximo	439,6	415,7	424,7	287,3	171,9	56,8	54,8	88,3	168,9	264,9	350,6	429,7	2400

Fonte: EVTE AHE Tabajara (PCE, 2014).

Figura 2.1.1 - Altura de Chuva Equivalente na Estação Tabajara - 1931-2012



Fonte: EVTE AHE Tabajara (PCE, 2014).

Com relação às médias anuais de precipitação, os índices totais anuais variam entre 1.700 mm e 2.400 mm, com média anual de 1.968 mm.

Com base nesta análise, o regime sazonal de precipitação indica a ocorrência de um quadrimestre mais úmido compreendido entre dezembro e março, com máximas verificadas geralmente em janeiro com índice médio de 313 mm. O período de estiagem abrange de junho a agosto, com precipitações mínimas de 14 mm verificadas normalmente no mês de julho.

2.2. Características do AHE Tabajara

O AHE Tabajara compreende um aproveitamento hidrelétrico com potência instalada de 400 MW e uma energia firme de 234,99 MW médios.

O reservatório deverá operar a fio d'água no nível d'água máximo normal de 80,0 m, compondo um espelho d'água abrangendo uma área de 96,31 km² e volume de 525,16 hm³, ocupando áreas do município de Machadinho D'Oeste, em Rondônia. Do total deste espelho d'água, aproximadamente 26,47 km² corresponde à área do rio a ser inundada.

O lago deverá compreender um estirão de cerca de 100 km, com profundidade máxima de 25,0 m e profundidade média de 8,14 m. O tempo de residência médio das águas é de 3,9 dias.

O vertedouro será de superfície com soleira da tomada d'água posicionada na cota 50,00 m e controle de vazão efetuado por seis comportas segmento, dimensionado para veicular uma vazão decamilenar de 10.570 m³/s. A crista da soleira do vertedouro estará posicionada na elevação 64,30 metros e o canal de aproximação escavado na elevação 49,00 metros.

O módulo da casa de força será composto por 3 unidades de geração individuais com potência unitária nominal de 133,33 MW acionadas respectivamente por turbinas Kaplan de eixo vertical.

Na Figura 2.2.1 é apresentada uma seção transversal da estrutura vertente e na Figura 2.2.2 a seção transversal típica da tomada d'água da casa de força.

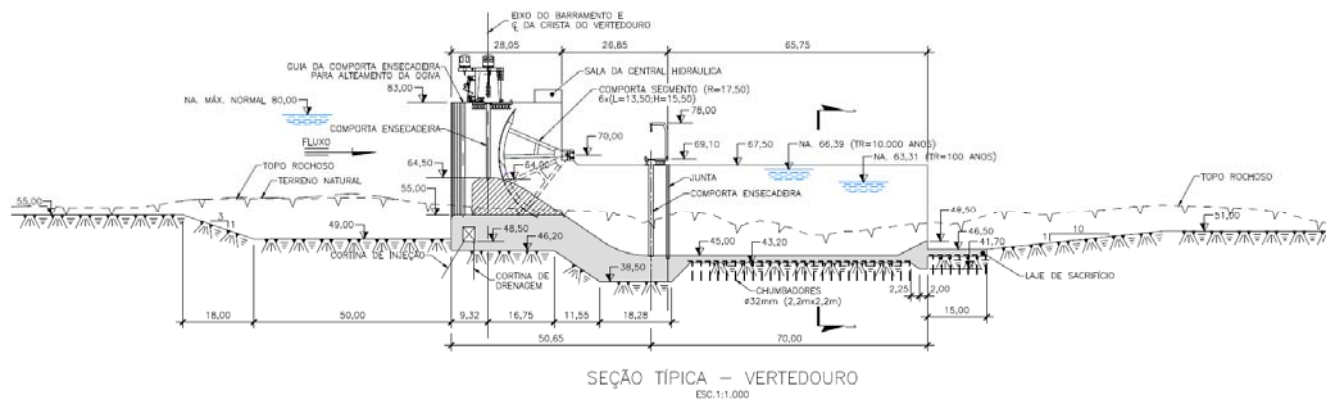


Figura 2.2.1 - Seção Transversal Típica do Vertedouro

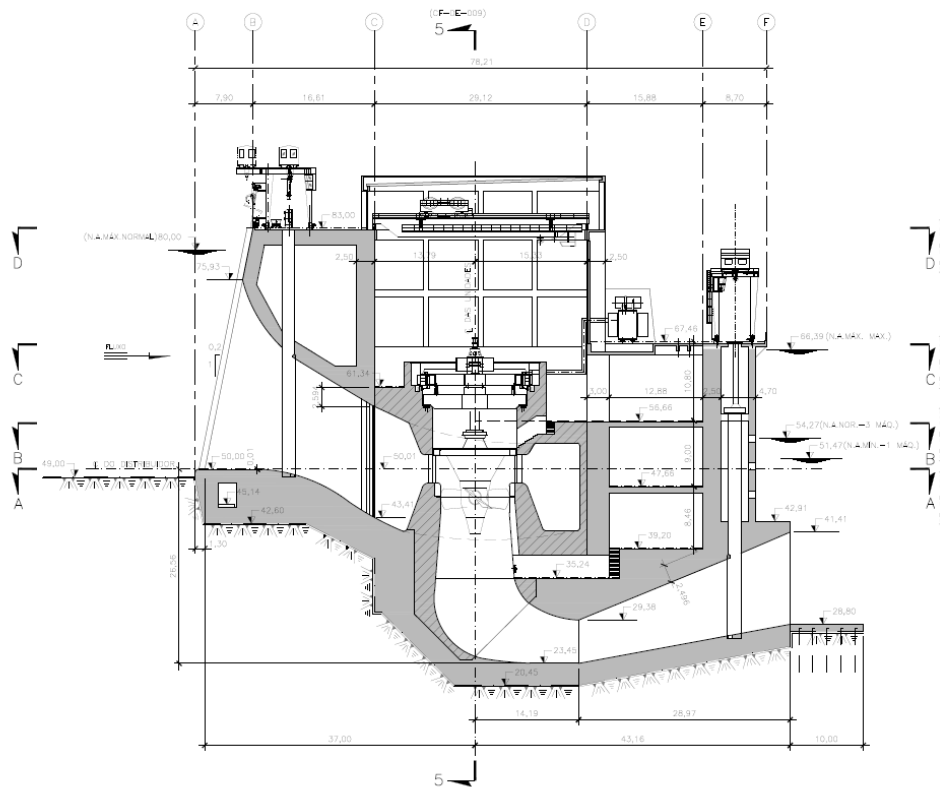


Figura 2.2.2 - Seção Transversal Típica da Tomada d'água da Casa de Força

Prevê-se que a fase de desvio do rio deverá ser concluída até o mês de novembro, antes do início do período úmido. A conclusão da barragem e o término da concretagem dos blocos rebaixados dos vertedores estão previstos para 30 de novembro, quando poderá ser feito o enchimento do reservatório.

A vazão residual a ser garantida a jusante durante o enchimento do reservatório corresponde à vazão com 95% de permanência diária, cujo valor é 248 m³/s.

Análises estatísticas referentes ao tempo do enchimento do reservatório indicam durações variando entre 1 a 130 dias. Especificamente, no mês de dezembro, as análises estatísticas de probabilidade assinalam durações entre 2 e 16 dias.

Na área intermediária do reservatório, a malha hídrica é constituída, em grande parte, por pequenos tributários. Dentre os maiores contribuintes pela margem esquerda do rio Ji-paraná, destacam-se o rio Machadinho e o igarapé do Inferno com áreas de drenagem respectivas de 5.476 km² e 754 km², aparecendo na sequencia os igarapés São Domingos, Cajueiro e Candelária. Pela margem direita, destacam-se os Igarapés dos Marmelos e Preto.

Na Figura 2.2.3 é apresentada a malha hídrica contribuinte a área do reservatório. No percurso entre o eixo do AHE Tabajara e a vila Tabajara, o rio Ji-Paraná apresenta escoamento turbulento, em função da presença de diversas corredeiras e pedrais associados a afloramento de rochas granitóides do embasamento cristalino. A montante da vila Tabajara o rio se caracteriza pela existência de planícies de inundação e lagoas marginais.

Figura 2.2.3 – Malha Hídrica Contribuinte a Área Intermediária do Reservatório

A caracterização do regime sazonal de vazões baseou-se na série de vazões médias mensais definidas para o local do eixo do AHE Tabajara e que compreende o período de janeiro de 1931 a dezembro de 2015, conforme apresentado na Tabela 2.2.1.

As séries de vazões foram definidas utilizando dados medidos na estação fluviométrica de Tabajara (60.300 km²) e foram transportadas para o local do eixo da barragem (60.521 km²) através da proporcionalidade entre as respectivas áreas de drenagem através da aplicação de um fator de correção de 1,00367.

O regime sazonal de vazão indica um quadrimestre mais úmido compreendido entre janeiro e abril, com máxima vazão incidindo em março com 3.673 m³/s. O período de estiagem abrange de agosto a outubro, com mínimas verificadas geralmente no mês de setembro com vazão média de 327 m³/s. Na Figura 2.2.4 é apresentado o histograma de vazão média mensal, mínimo médio e Máximo identificado em cada mês.

Tabela 2.2.1 - Vazões Médias Mensais do Rio Ji-Paraná no Eixo do AHE Tabajara (m³/s)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1931	2366	2253	2272	1758	1198	674	458	303	274	638	570	1271	1169
1932	2576	4557	3522	2108	1784	1052	619	425	335	592	1131	1771	1706
1933	3645	4146	4474	2662	1563	859	602	410	278	364	433	826	1688
1934	3278	3186	3762	3458	1436	897	593	374	375	516	1002	1294	1681
1935	3214	3891	4852	3277	1333	951	594	382	294	355	1115	1082	1778
1936	1786	2149	2731	2369	1086	917	499	331	284	288	666	1087	1183
1937	2432	1783	2834	2706	1489	908	608	437	443	478	618	973	1309
1938	3211	2543	3104	2499	1785	885	604	404	363	572	997	1705	1556
1939	3208	3957	4761	2775	1471	1092	747	431	450	463	693	1263	1776
1940	2936	3918	5221	3778	2023	1210	894	655	594	532	1129	1554	2037
1941	2430	3270	4305	2748	1949	956	822	523	370	529	907	941	1646
1942	2021	2445	4131	2419	1245	800	539	344	355	423	973	1763	1455
1943	2845	2719	3388	1920	1193	763	465	301	313	509	1087	1866	1447
1944	2493	3751	4341	2349	1398	919	536	343	241	539	1372	2243	1710
1945	4020	3999	4620	3444	1485	931	591	345	268	280	465	1051	1792
1946	1845	3444	4305	2590	2260	937	698	500	288	503	1208	1824	1700
1947	3730	3934	4366	2454	1735	965	620	414	343	566	799	1720	1804
1948	3977	2928	4258	2321	1502	1020	625	386	389	686	1038	4019	1929
1949	4770	4688	4142	2345	1776	1047	653	431	322	579	1144	2537	2036
1950	4524	3524	5131	3011	1410	959	587	373	303	500	1078	3381	2065
1951	3238	3702	4805	2247	2267	923	674	457	314	372	464	971	1703
1952	1728	2333	2909	2298	1475	806	543	402	255	278	817	2245	1341
1953	2606	3398	4267	1639	1204	702	448	265	252	429	410	1271	1408
1954	2481	3888	4531	2276	1784	908	625	384	377	300	798	1814	1681
1955	2824	3433	3826	2649	1754	910	623	429	277	238	371	1286	1552
1956	2105	2904	3180	3490	1742	1212	709	551	519	408	744	1560	1594
1957	2721	3649	3903	2825	1418	950	593	375	316	465	959	1723	1658

Tabela 2.2.1 - Vazões Médias Mensais do Rio Ji-Paraná no Eixo do AHE Tabajara (m³/s)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1958	3405	2745	3531	2962	1670	945	632	409	304	378	680	1599	1605
1959	3170	3071	3682	2668	1649	869	659	448	320	374	1278	2130	1693
1960	3697	3754	3162	2309	1193	784	480	320	223	398	520	1415	1521
1961	2042	2919	3618	2328	1508	914	550	421	248	335	590	1565	1420
1962	2438	4231	2410	2202	1296	847	495	322	286	319	476	2249	1464
1963	1942	3400	3350	2436	1465	845	542	366	347	315	441	839	1357
1964	1879	1679	2466	1791	1168	668	502	320	214	431	602	1241	1080
1965	1961	2353	3017	1989	2081	1030	800	500	505	930	1231	1615	1501
1966	1954	1974	4460	2660	1274	891	595	375	297	335	636	1100	1379
1967	2363	3510	2976	2188	1388	734	510	330	293	320	840	1162	1385
1968	1886	3420	2269	1967	1049	676	441	333	246	385	307	1415	1200
1969	1367	2063	2666	2189	1068	771	490	432	331	566	889	1656	1207
1970	2011	3250	3396	2819	1398	953	570	375	264	320	426	739	1377
1971	2337	2757	4645	3672	1929	1105	784	473	500	579	643	924	1696
1972	2176	2485	3269	2701	1593	1028	656	505	461	538	689	1677	1482
1973	3135	2892	4803	3303	1944	1150	811	628	531	656	1556	2988	2033
1974	3793	4125	3482	3166	1819	1216	764	645	402	549	970	1669	1883
1975	2633	4462	5397	4330	1935	1121	774	585	508	721	716	2688	2156
1976	4541	4165	4605	3316	1960	1192	896	497	508	469	741	2091	2082
1977	3662	3481	2845	2268	1580	1003	617	446	570	622	1189	1770	1671
1978	2955	2580	3962	2850	1923	1317	733	427	342	409	581	2152	1686
1979	2982	3598	3983	2982	1588	948	555	373	352	307	501	637	1567
1980	1153	2027	3238	2542	1460	707	446	268	192	316	396	960	1142
1981	1840	1961	2779	2369	1093	684	350	221	179	228	648	1304	1138
1982	2628	3275	3479	2561	1603	875	537	352	347	484	441	710	1441
1983	1443	2251	3335	2486	1185	739	417	253	188	201	505	930	1161
1984	2219	2036	2405	2605	1674	906	489	284	267	281	654	1207	1252
1985	1825	2273	2722	2714	2473	938	587	321	289	473	761	1361	1395
1986	2669	3561	3794	3128	1782	1162	645	445	420	488	537	951	1632
1987	1456	1892	2825	2219	1358	786	464	270	222	255	567	1010	1110
1988	2504	3164	3742	3155	1742	970	550	328	246	296	575	1103	1531
1989	2344	3993	3943	2909	1896	938	580	456	365	367	563	964	1610
1990	2179	3623	3442	2115	1279	805	503	311	265	345	613	1192	1389
1991	2475	3156	3422	3566	2274	1129	673	442	266	315	641	804	1597
1992	1609	2678	3490	2263	1307	879	653	539	517	353	711	1511	1376
1993	2644	3146	3210	2454	1552	862	460	320	302	353	684	1745	1477
1994	3204	3814	3339	2823	1536	956	665	403	334	405	553	1093	1594
1995	2093	3080	2925	2607	1801	916	556	328	280	350	699	1921	1463
1996	2606	2808	3819	2811	1566	858	529	374	325	425	884	1073	1506

Tabela 2.2.1 - Vazões Médias Mensais do Rio Ji-Paraná no Eixo do AHE Tabajara (m³/s)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1997	1849	2848	3792	3896	1876	1067	595	401	348	367	388	769	1516
1998	1067	1627	3103	1837	1080	637	338	229	187	312	816	1504	1061
1999	2534	2022	3343	1937	1303	736	505	263	250	248	618	1286	1254
2000	2325	2654	3102	2149	1184	642	419	334	276	296	814	1209	1284
2001	2341	2834	4118	2305	1449	924	554	325	365	460	642	1809	1511
2002	3002	2758	2520	2489	1450	748	458	359	371	295	549	1040	1337
2003	1943	3065	3502	4250	1915	990	472	342	362	403	531	698	1539
2004	2195	3150	3492	2752	1293	805	487	298	301	368	751	1166	1421
2005	2596	2578	4223	2642	1269	768	454	281	235	409	571	1646	1473
2006	3004	3718	3718	3830	1506	882	517	324	272	538	807	1395	1709
2007	2372	3364	3256	2444	1251	695	456	296	236	382	673	1303	1394
2008	2256	3937	3855	2849	1665	966	562	354	280	346	539	927	1545
2009	1644	3003	4081	3582	2188	1073	663	402	296	385	671	1797	1649
2010	2851	4096	4729	3191	1268	900	500	313	255	304	530	705	1637
2011	1641	2870	3500	3262	1125	641	442	256	246	317	480	1456	1353
2012	2757	4241	3600	2455	1439	913	527	309	227	362	632	1177	1553
2013	2403	4103	3590	3172	1540	1024	634	375	348	542	1349	2039	1760
2014	3147	4377	4690	3789	2213	1133	701	435	389	445	1173	2696	2099
2015	2652	3016	4151	3803	2760	1288	-	-	-	-	-	-	-
Mínimo	1067	1627	2269	1639	1049	637	338	221	179	201	307	637	1553
Média	2574	3157	3673	2723	1583	919	581	385	327	421	743	1486	
Máximo	4770	4688	5397	4330	2760	1317	896	655	594	930	1556	4019	

Fonte: PCE, 2016.

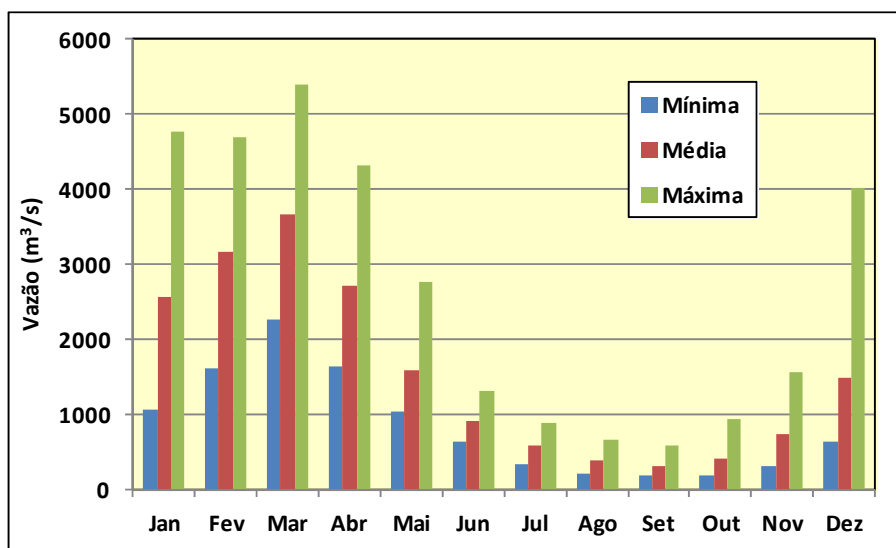


Figura 2.2.4 – Histograma de Vazão média Mensal

3. CONCEITUAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

Neste item são apresentadas informações sobre a conceituação teórica dos modelos matemáticos aplicados para cada uma das modelagens consideradas.

3.1. Modelo Hidráulico

O modelo apresentado é parte integrante de um sistema destinado à simulação da qualidade da água em reservatórios, gerando as variáveis de natureza hidráulica requisitadas pelo modelo de simulação de qualidade da água.

O modelo matemático concebido é do tipo bidimensional e baseia-se no algoritmo proposto por Jean A. Cunge que o utilizou na modelagem das áreas inundadas do Delta do Mekong.

No processo de modelagem, o corpo hídrico é representado por uma sequência de compartimentos horizontais e trechos de canais por onde se processa o escoamento entre células vizinhas. As leis de transferência de vazões baseiam-se na Fórmula de Manning aliada à expressão da continuidade, cujo sentido do escoamento é função da diferença dos níveis d'água entre as células consideradas.

O condicionante físico que regula o escoamento é ditado principalmente pela topografia local. A água que extravasa de sua calha natural tem seu fluxo de vazão moldado pelas fronteiras naturais do terreno, tais como meandros, vales irregulares, depressões no terreno e vegetação, o que pressupõe o conhecimento da morfologia da área inundada, a qual deve ser amarrada topograficamente.

Concepção Teórica

Na aplicação do modelo de células, considera-se que a superfície da água de cada compartimento seja horizontal em toda sua extensão, caracterizada através de seu nível d'água representativo z_i .

Baseado nesta premissa é admitido as seguintes hipóteses:

O volume de água V_i contido em cada célula está diretamente relacionado com o seu respectivo nível z_i ; e,

A transferência da vazão $Q_{i,k}$ entre duas células adjacentes de número de ordem i e k , em qualquer tempo, é função dos seus respectivos níveis d'água, ou seja:

$$V_i = V(z_i)$$

$$Q_{i,k} = f(z_i, z_k)$$

Onde i e j são os números de ordem das células adjacentes.

No balanço de massa, em uma dada célula de ordem i , são considerados os fluxos de vazões que ocorrem entre esta e as células adjacentes. A equação da continuidade representativa deste processo é a seguinte:

$$A_{s_i} * dz_i / dt = Q_{i,k} \quad (1)$$

Onde:

A_{s_i} = área da superfície da célula i correspondente ao nível z_i

$Q_{i,k}$ = vazão entre as células i e k em função dos níveis z_i e z_k

A transferência de vazões entre células baseia-se na equação dinâmica, onde são desprezados os termos de inércia e utiliza a fórmula de Manning-Strickler para a declividade da linha da energia:

$$\Delta h / \Delta x = S_0 - S_f \quad (2)$$

Onde:

Δh = diferença de profundidade do escoamento

Δx = distância entre centros de células

S_0 = declividade do terreno entre os centros de células

S_f = declividade da linha de energia

$$S_0 = - \Delta z_p / \Delta x \quad (3)$$

Onde:

Δz_p = diferença de cotas de fundo entre centros de células

$$S_f = Q_{i,k}^2 * n^2 / A_{i,k}^2 * R_{i,k}^{4/3} \quad (4)$$

Onde:

n = coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning entre as células i e k

$A_{i,k}$ = área da seção transversal entre as células i e k

$R_{i,k}$ = raio hidráulico da seção $A_{i,k}$

No processo de solução numérica, a equação originalmente contínua passa a ser tratada em termos de incrementos finitos. Desta forma, procura-se uma formulação matemática que a transforme em equações do tipo lineares.

Esta solução parte da discretização da equação da continuidade (1), já citada anteriormente:

$$A_{s_i}^n * \Delta z_i^{n+1} / \Delta t = \sum Q_{i,k} \quad (10)$$

Onde:

Δz_i = variação dos níveis de água entre os tempos n e $n+1$

Na discretização temporal, o índice n será referido ao tempo $n \cdot \Delta t$ anterior ao cálculo onde a variável é conhecida. O índice $n+1$ corresponde ao tempo atual, onde se procura o valor desconhecido da variável.

Considerando a aplicação de um esquema implícito ao termo $Q_{i,k}$, resulta:

$$Q_{i,k} [Z_i(\tau), Z_k(\tau)] = \Theta * Q_{i,k}^{n+1} + (1 - \Theta) * Q_{i,k}^n \quad (11)$$

Onde:

Θ = coeficiente de ponderação no tempo, variável entre 0 e 1

τ = tempo intermediário entre $n * \Delta t$ e $(n + 1) * \Delta t$

Para $\Theta = 1$, tem-se uma formulação totalmente implícita, condição adotada no modelo hidráulico.

Como as relações de vazões obtidas não são lineares, o sistema é expandido através da aplicação da série de Taylor. Neste processo, desprezam-se os termos de ordem superior e admite-se que as variações Δz_i são pequenas durante o intervalo de tempo Δt . A equação assim desenvolvida resulta:

$$Q_{i,k}^{n+1} = Q_{i,k}^n + \delta Q_{i,k}^n / \delta z_i * \Delta z_i^{n+1} + \delta Q_{i,k}^n / \delta z_k * \Delta z_k^{n+1} \quad (12)$$

Substituindo o resultado encontrado na expressão (10) resulta no seguinte sistema linear de equações:

$$A_{si}^n * \Delta z_i^{n+1} / \Delta t = \Sigma Q_{i,k}^n + \Sigma \delta Q_{i,k}^n / \delta z_i * \Delta z_i^{n+1} + \Sigma \delta Q_{i,k}^n / \delta z_k * \Delta z_k^{n+1}$$

O conjunto de equações resultantes forma um sistema linear, contendo n equações a n incógnitas pode ser representada numericamente através de uma matriz de coeficientes do tipo esparsa, com muitos elementos nulos.

Aplicação do Modelo Hidráulico

A modelagem matemática requer um trabalho preparatório dos dados de entrada, devendo compreender as seguintes atividades:

- Montagem do esquema topológico de células representativo do sistema hídrico;
- Definição das variáveis temporais, representadas pelas vazões afluentes e defluentes ao corpo hídrico simulado;
- Calibragem do modelo hidráulico; e,
- Exploração do sistema com a imposição de cenários alternativos de aportes de vazões hidrológicas e operativas.

Segmentação do Reservatório

A segmentação do reservatório é realizada após uma análise cuidadosa dos fluxos que poderão ocorrer na área alagada, com nível de detalhamento compatível com os níveis de precisão desejados na modelagem.

Este trabalho é baseado em dados cartográficos, dados de perfilamento a laser e levantamentos topobatimétricos de seções transversais realizados ao longo do sistema hídrico que, tratados numericamente, permitem a definição dos dados de entrada do modelo matemático.

A delimitação dos segmentos é orientada pelos pontos notáveis que caracterizam o corpo d'água a ser simulado, identificando-se inicialmente os canais onde os escoamentos ocorrem com maior facilidade. Neste processo, a primeira delimitação deverá contemplar os compartimentos representativos do corpo central do reservatório, separando-os das porções dos braços laterais inundados, onde as velocidades do fluxo d'água se processam de forma mais lenta.

A partir destes conceitos, define-se o esquema topológico do sistema hídrico, caracterizado por um conjunto de compartimentos individualizados interligados entre si através de canais hipotéticos de drenagem.

Baseado nesta topologia é definido os parâmetros geométricos representativos de cada compartimento, o qual é caracterizado através de pares de valores relacionando o nível d'água com a área da superfície líquida.

Os canais de comunicação entre segmentos, definidos preliminarmente nesta fase, são ajustados durante a calibragem do modelo.

Definição das Variáveis Temporais

Os insumos básicos de entrada são constituídos por séries de vazões afluentes e defluentes ao meio hídrico.

As vazões afluentes são representadas pelo aporte principal de vazão aplicada em sua extremidade de montante e aquelas provenientes das contribuições laterais, definidas pelos estudos hidrológicos.

As parcelas relativas às defluências representam as retiradas e/ou as vazões de saída do reservatório, as quais são definidas com base em suas regras operativas.

3.2. Modelo Matemático de Eutrofização

O modelo de eutrofização baseia-se fundamentalmente na estrutura lógica do módulo **EUTRO4** do programa **WASP4**, ao qual foram acrescentadas as equações que permitem simular os processos físicos e bioquímicos de incorporação e degradação da biomassa que ocorrem durante as fases de enchimento e operação do reservatório.

A seguir são apresentadas as versões originais do modelo WASP, conforme concebido pela EPA e as alterações introduzidas neste programa, capacitando-o para simular os processos associados à incorporação e biodegradação da biomassa inundada.

3.2.1 Modelo WASP4 Original

O modelo de simulação de qualidade da água **WASP4** (Water Quality Analysis Simulation Program) desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency - USEPA é de larga aceitação nos estudos de planejamento.

As características deste modelo, em termos de estrutura espacial, discretização temporal, versatilidade estrutural e variáveis de estado simuláveis, torna-o adequado para aplicação aos estudos de qualidade da água dos recursos hídricos.

Através dos módulos presentes neste programa, são simulados os efeitos de advecção, dispersão e interação dos diversos constituintes considerados no processo. Os constituintes simulados podem ser conservativos ou não, incluindo-se substâncias tóxicas e as variáveis envolvidas no processo de eutrofização do reservatório.

Estas cinéticas são realizadas por quatro módulos independentes:

- **DYNHYD4** – Simula o movimento da água em rios, estuários ou reservatórios, cujo processo é representado, matematicamente, por duas equações diferenciais que controlam a conservação da massa e quantidade de movimento do escoamento conhecido como Equações de Saint Venant.
- **Módulo básico** – Simula o transporte dos constituintes conservativos, tais como: cloretos, traçadores químicos, etc.
- **EUTRO4** – Simula especificamente os processos físico-químicos que afetam o transporte e a interação entre os nutrientes, fitoplâncton, matéria orgânica e oxigênio dissolvido.
- **TOXI4** – Simula a evolução e a degradação de elementos tóxicos, através de um grande número de processos químicos e biológicos. Estes processos incluem a biodegradação, hidrólise, fotólise e oxidação química, metais pesados, etc.

No módulo **EUTRO4** objeto dos trabalhos de modelagem é identificado quatro sistemas interativos:

- ✓ Cinética fitoplanctônica;
- ✓ Ciclo do fósforo;
- ✓ Ciclo do nitrogênio e
- ✓ Balanço do oxigênio dissolvido

No processo de simulação, o corpo hídrico é representado por um conjunto de segmentos ou reatores de mistura completa, onde ocorrem reações envolvendo as seguintes variáveis bioquímicas:

- ✓ Amônia: **NH₃**
- ✓ Nitrato: **NO₃**
- ✓ Ortofosfato: **OPO₄**
- ✓ Clorofila_a: **CHLa**
- ✓ Demanda bioquímica do oxigênio: **DBO**
- ✓ Oxigênio dissolvido: **OD**
- ✓ Nitrogênio orgânico: **ON**
- ✓ Fósforo orgânico: **OP**

Conforme esquematizado na Figura 3.2.1.1, os processos cinéticos e as reações de transformação envolvem a participação de oito variáveis de estado, os quais são integrados em quatro sistemas interativos:

- ✓ **Cinética fitoplanctônica** – Esta cinética assume um destaque central no processo de eutrofização, interagindo e afetando os demais ciclos. Durante a fase de crescimento, ocorre a absorção dos compostos de fósforo e nitrogênio e liberação de oxigênio dissolvido. Após a sua morte, a biodegradação reconstitui estes elementos ao meio aquático, nas formas de nitrogênio e fósforo orgânico, momento onde ocorre também o consumo de oxigênio dissolvido;
- ✓ **Ciclo do fósforo** – O fósforo na sua forma orgânica é transformado em ortofosfato o qual é absorvido pelos fitoplânctons para a sua multiplicação e crescimento;
- ✓ **Ciclo do nitrogênio** – O nitrogênio orgânico é transformado em amônia e nitrato o qual, por sua vez, suprem também as comunidades fitoplanctônicas. Na ausência de oxigênio dissolvido, o nitrato através do processo de denitrificação libera o nitrogênio.
- ✓ **Ciclo do oxigênio dissolvido** – O oxigênio dissolvido interage com todos os demais processos, sendo consumido no processo de oxidação do carbono orgânico, com liberação de CO₂, e da amônia que é transformada em nitrato. A regeneração do oxigênio dissolvido é realizada através do processo de re-aeração na superfície líquida e liberação de oxigênio durante a fase de crescimento da comunidade fitoplanctônica.

3.2.2 Módulo EUTRO4 Modificado

A adaptação do modelo WASP para capacitar os processos de incorporação da fitomassa advém de uma experiência anterior na formulação de modelos matemáticos, onde inicialmente o reservatório era tratado como reator único de mistura completa. Dentre os modelos utilizados nesta fase, destaca-se o modelo simplificado de reator

único denominado ERNOS (Enchimento de Reservatório Não Segmentado; Hespanhol, 1984) e posteriormente, num processo evolutivo, foram formulados os modelos ERSE (Enchimento de Reservatório Segmentado) e ESTRAQUAL (CNEC, 1989), desenvolvidos entre as décadas de 1980 e 1990, pelos quais o reservatório foi tratado por um conjunto de reatores independentes.

Os modelos citados tinham como principal finalidade analisar os impactos da incorporação e biodegradação da matéria vegetal residente no reservatório que ocorre durante a fase de enchimento, analisando os efeitos deste processo desde a condição de rio natural até a formação do reservatório no nível máximo normal de operação e sua estabilização ao longo da fase operativa.

A necessidade de se dispor de uma ferramenta de análise mais aprimorada, que descreve detalhadamente os processos de incorporação e biodegradação da biomassa inundada, procedeu-se a inclusão destes algoritmos no módulo EUTRO do programa WASP, aproveitando a sua estrutura lógica e sem alterar qualquer algoritmo pré-existente.

A primeira aplicação do modelo foi realizada no ano de 1993, no estudo de qualidade da água do reservatório da UHE Porto Primavera no rio Paraná, tendo até a data presente utilizada na previsão de desmatamento de diversos outros reservatórios, cumprindo destacar: as UHE Lajeado, Estreito e Marabá no rio Tocantins, UHE Belo Monte, Santa Izabel no rio Araguaia, Tijuco Alto no rio Ribeira, AHE's de Ribeiro Gonçalves, Uruçui, Cachoeira, Estreito e Castelhana no rio Paranaíba, São Luiz do Tapajós no rio Tapajós, dentre outros.

Dentre as características que se destacam na utilização deste modelo, citam-se:

- A representação detalhada da hidrodinâmica que ocorre durante a fase do enchimento do reservatório, onde se observam as piores condições de qualidade da água, com quedas expressivas das concentrações do oxigênio dissolvido. Neste processo é retratada, em cada passo de tempo, a elevação do nível d'água no reservatório, a incorporação gradual da fitomassa residente e o balanço volumétrico até atingir o nível máximo normal de operação e se estendendo para a fase operativa normal;
- A representação detalhada da incorporação gradual da fitomassa residente no corpo do reservatório, quando da elevação dos níveis d'água durante a fase de enchimento do reservatório;
- Os processos bioquímicos que ocorrem quando da incorporação da fitomassa residente é baseada em dados de ensaios realizados em laboratório, como os desenvolvidos pelo Departamento de Hidrobiologia da Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR. O detalhamento dos processos de biodegradação consideram três parâmetros característicos de ambiente aeróbico e três parâmetros aplicáveis a ambiente anaeróbico. As cinéticas de biodegradação são detalhadas através da oxidação da matéria fixa ao fundo, dissolução da

matéria fixa no fundo e biodegradação da matéria dissolvida que são moduladas através destes seis coeficientes, conforme detalhado neste documento.

- Detalhamento do cálculo do carbono biodegradável baseado também em dados de experimentos desenvolvidos pelo Departamento de Hidrobiologia da UFSCAR, onde são definidas as parcelas vegetais referentes as participações das massas dos galhos, cascas, folhas, e serrapilheira na composição do carbono biodegradável.

As alterações implementadas no programa original visaram capacitar a representação dos processos físicos e bioquímicos relacionados à incorporação e biodegradação da fitomassa inundada, que ocorrem a partir da fase de enchimento do reservatório.

A fim de capacitar a representação do processo de incorporação e posterior biodegradação da biomassa inundada, realizou-se um trabalho de adaptação no programa original, mais especificamente no módulo EUTRO4, com a incorporação de novos algoritmos, sem alteração de sua estrutura lógica.

Na formulação do modelo, admite-se o reservatório subdividido em compartimentos independentes, comportando-se como reator de mistura completa, cujas cinéticas, representadas por equações diferenciais de primeira ordem, descrevem as variações temporais dos seguintes parâmetros:

- ✓ Demanda bioquímica de oxigênio;
- ✓ Nitrogênio contido na vegetação submersa e dissolvido na água;
- ✓ Fósforo contido na vegetação e dissolvido na água; e,
- ✓ Oxigênio dissolvido.

Nesta nova concepção foram acrescentados três novos sistemas ao módulo EUTRO4 original, conforme esquematizado na Figura 3.2.2.1.

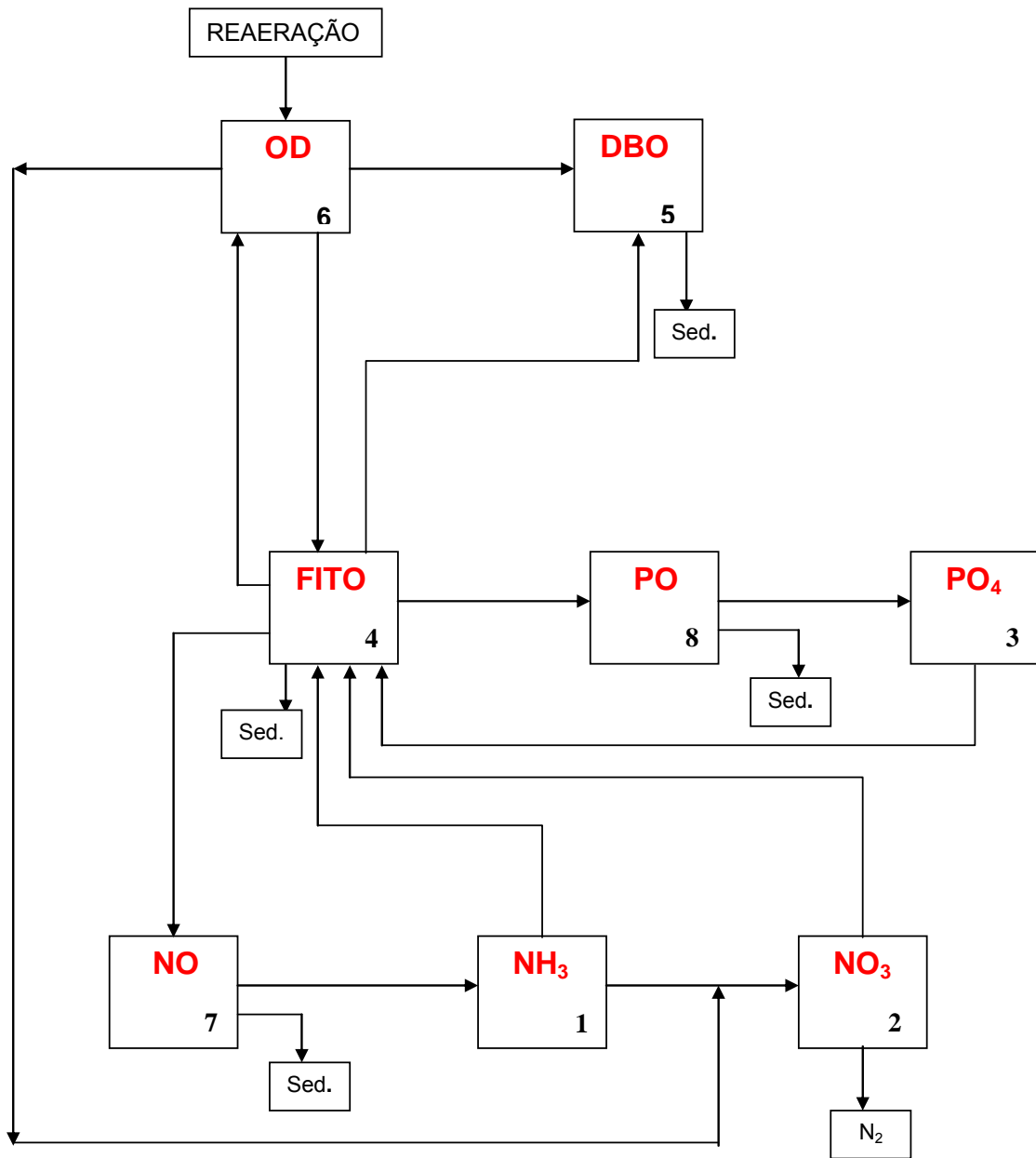


Figura 3.2.1.1 - Estrutura do Módulo EUTRO4 Original

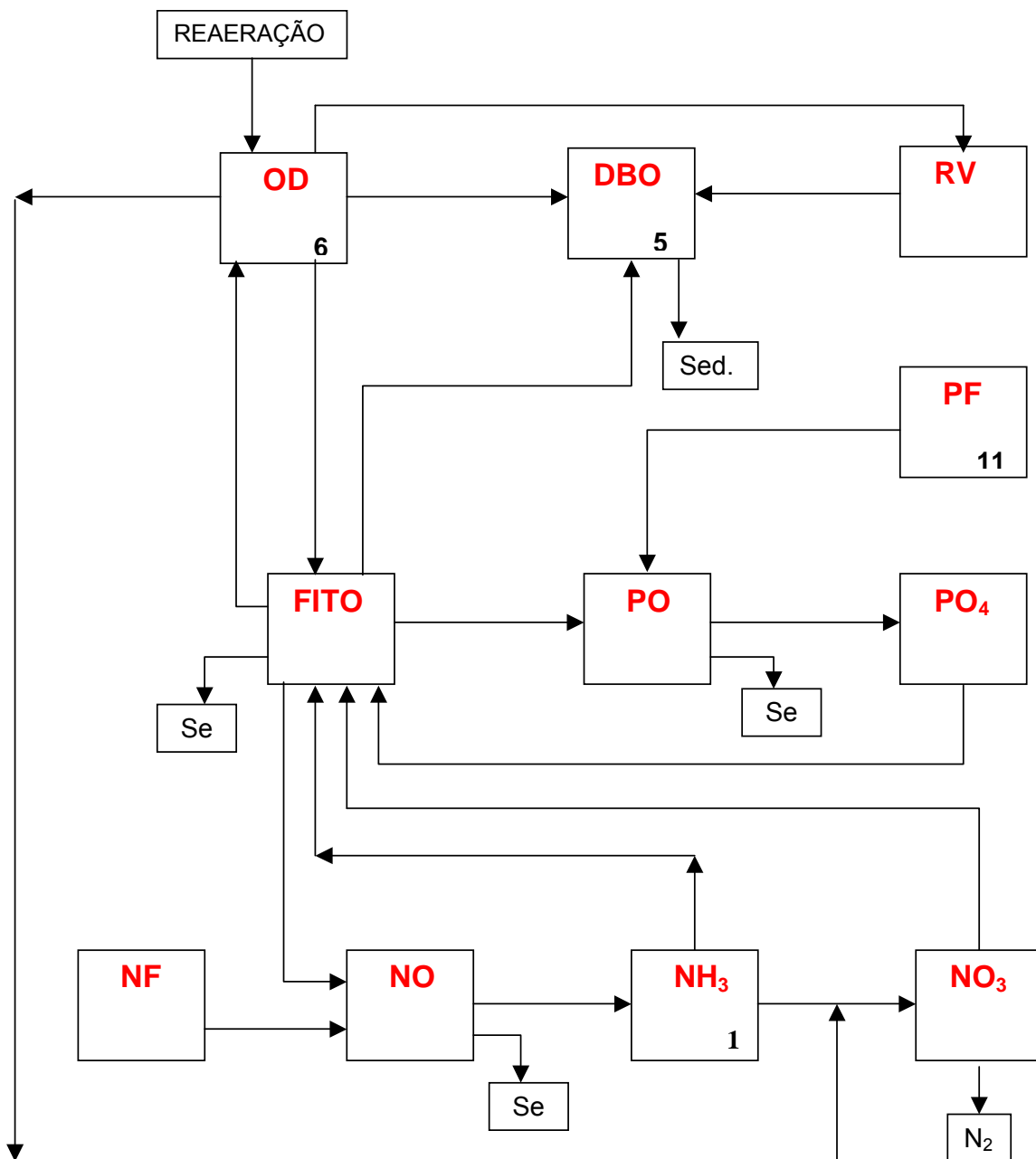


Figura 3.2.2.1 - Estrutura do Módulo EUTRO4 Modificado

Na Figura 3.2.2.2 são representadas as interações cinéticas dos processos relacionados à degradação da matéria vegetal inundada, as quais foram incorporadas neste novo módulo.

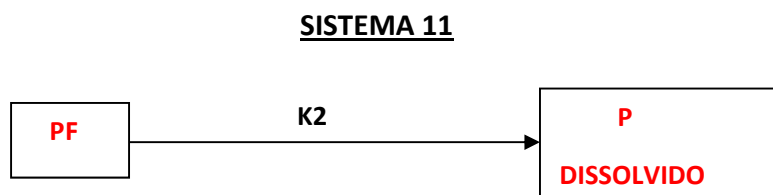
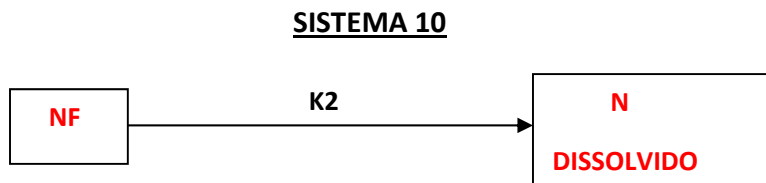
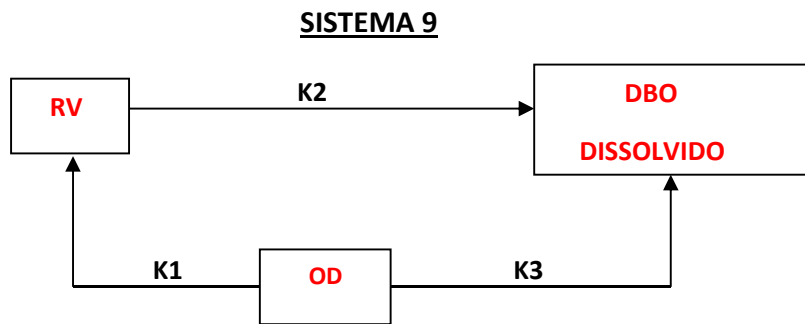


Figura 3.2.2.2 - Representações Cinéticas dos Sistemas 9, 10 e 11

Onde:

- DBO** = demanda bioquímica do oxigênio
- RV** = DBO da matéria vegetal fixa ao solo
- OD** = oxigênio dissolvido
- NF** = nitrogênio fixo na matéria vegetal
- PF** = fósforo fixo na matéria vegetal
- K1** = taxa de biodegradação da DBO fixa
- K2** = taxa de dissolução da DBO fixa
- K3** = taxa de biodegradação da DBO dissolvida

A representação destes processos é descrita por três sistemas interativos:

SISTEMA 9 – Representadas as seguintes cinéticas:

- ✓ A matéria vegetal inundada fixa ao fundo do reservatório sofre biodegradação com consumo de oxigênio dissolvido, segundo uma taxa **K1**;
- ✓ A matéria vegetal inundada fixa ao solo sofre dissolução, produzindo uma DBO dissolvida na massa líquida, a uma taxa de transferência **K2**;
- ✓ A DBO dissolvida, por sua vez, sofre também um processo de biodegradação com consumo de oxigênio, segundo uma taxa **K3**.

O processo de degradação da biomassa inundada, representada pelas parcelas fixa ao solo e dissolvida, são regidas pelos níveis de concentrações de oxigênio dissolvido no corpo hídrico que estabelecem as cinéticas representativas das condições aeróbicas e anaeróbicas.

Desta forma é requerido, como dados de entrada, o fornecimento de dois conjuntos de parâmetros K1, K2 e K3 representativas das condições aeróbicas e anaeróbicas do corpo hídrico.

SISTEMA 10. O nitrogênio fixo presente na matéria vegetal inundada sofre dissolução, produzindo nitrogênio orgânico na forma dissolvida.

SISTEMA 11. O fósforo fixo na presente na matéria vegetal inundada sofre dissolução, produzindo fósforo orgânico na forma dissolvida.

Onde:

K1 = taxa de biodegradação da DBO fixa

K2 = taxa de dissolução da DBO fixa

K3 = taxa de biodegradação da DBO dissolvida

As parcelas de cargas representativas do nitrogênio e fósforo são definidas com base nas relações estequiométricas entre o nitrogênio-carbono orgânico e o fósforo-carbono orgânico cujos valores são partes dos dados de entrada do modelo matemático.

O modelo adotado apresenta algumas características que devem ser consideradas quando da interpretação de seus resultados, dentre os quais se citam:

- ✓ O modelo considera cada segmento como sendo um reator de mistura completa e
- ✓ O processo de biodegradação tem início logo após o seu afogamento, ou seja, não se prevê, portanto, a morte gradual da fitomassa submersa. 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.

3.3. Modelo de simulação CE-QUAL-W2- versão 4.0

Trata-se de um modelo bidimensional (longitudinal-vertical) de hidrodinâmica e de qualidade da água, capaz de prever elevação da superfície da água, velocidade, temperatura, concentração de nutrientes, diversas algas, espécies de zooplâncton, perifíton e de macrófitas, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, diversos grupos de (demanda bioquímica de oxigênio carbonáceo), vários grupos de sólidos em suspensão, vários constituintes genéricos (tais como indicadores, bactérias, produtos tóxicos) e vários grupos de matéria orgânica, tanto dissolvidas como particulada. O modelo é configurado para prever estas variáveis de estado em segmentos longitudinais e camadas verticais, conforme ilustrado na Figura 3.3.1.

Na Figura 3.3.1 é retratado um exemplo de relatório gráfico gerado pelo modelo CE-QUAL-W2 aplicado para o Reservatório Tenkiller, em Oklahoma, nos EUA, para a temperatura em função da profundidade e distância longitudinal em 12 de julho de 2005. Os dados medidos em campo são indicados em cor vermelha e o previsto pelo modelo em cor azul.

A resolução longitudinal padrão do modelo é entre 100-1000 m; a resolução vertical é geralmente entre 0,5 m e 2 m. O modelo também pode ser utilizado no modo quase-3-D, no qual remansos são tratados como modelos de braços separados do corpo principal do reservatório. O manual do usuário e documentação pode ser encontrado no site da Portland State University: <http://www.cee.pdx.edu/w2>.

O Dr. Scott Wells e seu grupo têm sido os principais desenvolvedores deste modelo para o ERDC (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia - Engineer Research and Development Center), Laboratório Ambiental, Corpo de Engenheiros da Estação de Pesquisa de Canais (Waterways Experiments Station Corps of Engineers) nos últimos 15 anos. Desde o ano 2000, este modelo tem sido amplamente utilizado em todo o mundo, em lagos, reservatórios, estuários e sistemas fluviais de 116 países diferentes, conforme número de aplicações conhecidas indicadas na Tabela 3.3.1.

Evidenciando a aceitabilidade do modelo, entre junho de 2004 e maio 2014, houve cerca de 13.300 downloads do software ou cerca de 1.300/ano, feitos de 159 países. Destes downloads, 4.280 foram para a Versão 3.6 - a versão anterior do modelo. Desde o lançamento da versão beta no final de 2012, houve 2.523 downloads da versão 3.7 até maio de 2014.

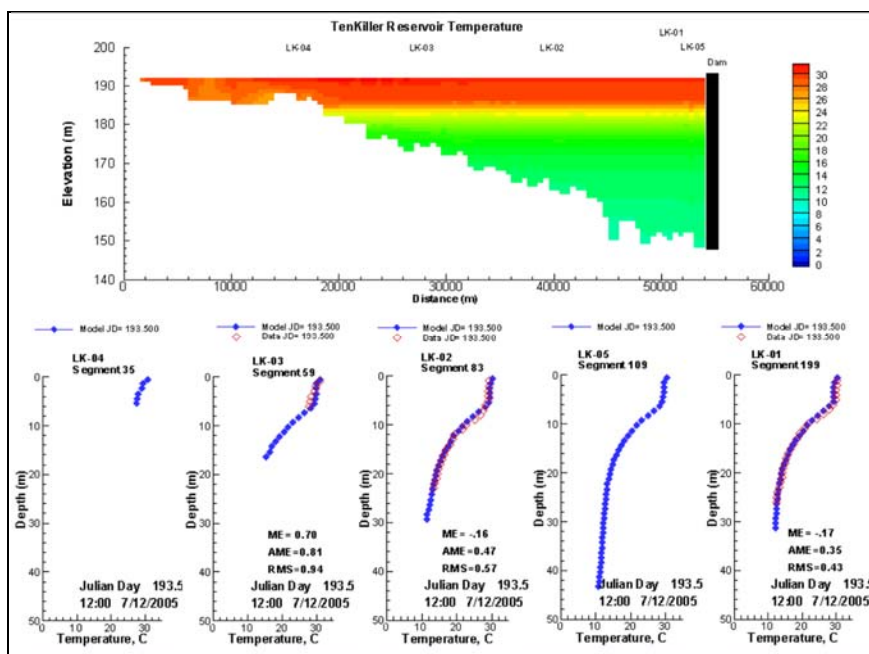


Figura 3.3.1 Exemplo de previsões do modelo CE-QUAL-W2 para o Reservatório Tenkiller em Oklahoma/EUA para a temperatura

Tabela 3.3.1 - Aplicações do CE-QUAL-W2 entre os anos de 2000 e 2012.

Corpo d'água	Número Conhecido de Aplicações
Reservatórios	319
Lagos	287
Rios	436
Estuários	82
Cavas de Mineração	10+

A utilização deste modelo se justifica por simular as variações da qualidade da água detalhada nas dimensões longitudinal e estratificada no perfil vertical da linha d'água, configurando-se em um modelo do tipo bidimensional retratada através de um sistema de camadas interpostas no sentido longitudinal e vertical do escoamento.

Na representação dos processos cinéticos da qualidade da água, consideram-se também os algoritmos que integram este aplicativo no que se refere ao escoamento hidrodinâmico e representação dos processos bioquímicos.

O escoamento hidrodinâmico é baseado nas equações da continuidade e do momentum sendo considerados também os efeitos da temperatura na densidade da água.

No modelo considera-se uma ampla multiplicidade de variáveis de estado da qualidade da água, cumprindo destacar:

- Qualquer número de constituinte genérico descrito por equações de 2ª ordem retratando os constituintes conservativos (traçadores); tempo de residência da água, coliformes e contaminantes;
- Qualquer número de grupos inorgânicos de sólidos suspensos;
- Qualquer número de grupos de fitoplânctos;
- Qualquer número de grupos de perifiton/epifiton;
- Temperatura da água;
- Qualquer número de grupos de DBO, incluindo DBO-N e DBO-P;
- Oxigênio dissolvido e séries fosfatadas e nitrogenadas (Amônio, nitrato+nitrato);
- Matéria orgânica lábil dissolvida;
- Matéria orgânica refratária dissolvida.

Mesmo tendo a capacidade de simular (temporalmente e espacialmente) um conjunto extenso de variáveis, o modelo CE-QUAL-W2 tem sido capaz de realizar as simulações (prognósticos) com conjunto de dados compatível como grau de complexidade das informações usualmente manipuladas nos estudos de impacto ambiental. Nesse contexto, a utilização de modelos mais complexos nem sempre é factível diante da quantidade e complexidade de informações requeridas. A esse respeito, esse modelo tem sido utilizado com êxito em vários estudos (prognósticos da qualidade da água em função do grau de supressão da vegetação) que tratam dos Programas de Limpeza da Bacia de Acumulação. As distribuições verticais informam com precisão a distribuição das variáveis com relação aos efeitos da estratificação térmica do reservatório; assim como permite o prognóstico do padrão de estratificação térmica.

3.4. Modelo Matemático de Estratificação Térmica

A estratificação térmica deve-se à criação de ambientes lênticos com reduzida capacidade de renovação. Este processo é constatado ao longo da coluna d'água em reservatórios profundos, com o aparecimento de três níveis ou camadas distintas de temperatura, sendo elas: epilímnio, metalímnio e hipolímnio.

O estabelecimento da estratificação é favorecido quando o volume do reservatório é grande, face aos volumes de vazões anuais afluentes. Nestas condições a isoterma é horizontal durante a maior parte do ano e a estratificação é geralmente mantida durante o verão e o outono.

A causa primária da estratificação térmica é a baixa condutividade térmica da água, a limitação da penetração da energia radiante e da luz, e o fato de que os fluxos de vazões afluentes no fim da primavera e no verão tendem a ser mais quente que a superfície do reservatório. Esses fluxos quentes afluentes permanecem na camada superficial do reservatório.

Outro fluxo de calor que penetra nas camadas da superfície do reservatório na forma de energia radiante, sendo grande parte absorvida nos primeiros poucos metros, condicionando um aquecimento maior da água situada próximo à superfície, em contraste com aquela situada nas camadas mais profundas que se mantém em temperaturas mais baixas. A água mais aquecida e menos densa tende a permanecer na superfície, absorvendo mais calor, e estabelecendo condições de estratificação.

Por outro lado, o processo de evaporação esfria a camada superficial, provocando o aparecimento de correntes de convecção. Este processo é intensificado durante o período noturno com a ausência da radiação solar e perdas por condutividade. A ação do vento vem intensificar este processo, provocando uma circulação turbulenta na camada do epilímnio.

A destruição da estratificação térmica é acompanhada por uma mistura vertical do reservatório e conseqüente quedas nos índices de qualidade da água.

Na condição estratificada, a camada do hipolímnio apresenta-se como um reator bioquímico isolado da atmosfera, impedindo o processo de re-aeração. Neste ambiente são normalmente observadas condições de anaerobiose e baixos índices de qualidade das águas, com produção indesejável de gases e odores, ocasionalmente com efeitos tóxicos, com uma produção de amônia, redução de sulfeto e formação de metano.

Esta situação mais crítica, observada na camada de fundo, decorre principalmente dos processos de decomposição da matéria orgânica oriunda da vegetação afogada.

Durante a quebra da termoclina ocorre uma mistura das camadas, causando uma rápida deterioração da qualidade da água. Por esta razão, o conhecimento do perfil térmico é essencial para o controle da qualidade da água e da previsão de estruturas hidráulicas de descargas adequadas, visando minimizar os impactos decorrentes destes processos.

- **Conceituação Teórica**

O modelo matemático adotado baseia-se no processo de absorção e transmissão da radiação solar, convecção devido ao esfriamento da superfície pela evaporação, ação do vento e os fluxos de vazões afluentes e defluentes.

As primeiras verificações do modelo matemático foram desenvolvidas em laboratório, através de modelos físicos desenvolvidos por Huber e Harleman do "Massachusetts Institute of Technology" e posteriormente aplicado em diversos reservatórios com sucesso.

O comportamento térmico do reservatório, normalmente é simulado, descrevendo um ciclo anual completo, de forma a acompanhar as variações sazonais de vazões e condições climáticas, calculando as perdas de calor diárias como uma função das informações meteorológicas.

No processo de modelagem, o reservatório é esquematizado em uma série de elementos horizontais com elevação y , área $A=f(Y)$ e espessura dy . O fluxo de calor penetra na superfície horizontal por radiação, por advecção vertical e por difusão. A equação dinâmica, controlando os processos de transmissão e distribuição da temperatura no corpo d'água, considera em sua formulação a conservação da continuidade e do calor.

A relativa estabilidade conferida aos corpos de água estratificados se deve principalmente às propriedades peculiares da água caracterizadas pelos seus elevados calores latentes de evaporação ($L_v = 590 \text{ cal.g}^{-1}$) e fusão ($L_f = 80 \text{ cal.g}^{-1}$). Deste modo, a água exige o aporte de grandes quantidades de energia para trocar o seu estado físico, conferindo-lhe uma elevada inércia térmica que resulta numa demora em aquecimento e resfriamento.

As principais simplificações da modelagem são:

- ✓ A isoterma no reservatório estratificado é horizontal e o gradiente térmico existe apenas na direção vertical.
- ✓ O transporte de calor devido à mistura provocada pelo fluxo turbulento ocorre somente na região do epilímnio e se limita ao espaço de tempo em que a temperatura induz a desestabilização do perfil de densidade.
- ✓ A radiação solar é transmitida somente na direção vertical.
- ✓ O fluxo de calor não é perdido na interface física entre a massa líquida e o solo junto às margens e fundo do reservatório. As trocas de calor partem da superfície do reservatório, via evaporação e através dos fluxos de vazões derivadas da afluência e da defluência.
- ✓ A densidade e o calor específico e o coeficiente de difusão molecular da água é assumido constante ao longo da simulação.
- ✓ A energia da radiação solar, transmitida para a água e interceptada pelas margens, é distribuída uniformemente sobre a seção transversal e na profundidade de interceptação.

4. DADOS BÁSICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM

Para o desenvolvimento das diferentes modelagens matemáticas, procedeu-se uma fase preparatória de coleta de dados disponíveis, onde as informações básicas foram definidas em função das necessidades de informações para as entradas em cada um dos modelos matemáticos, conforme apresentados nos itens a seguir.

4.1 Dados Cartográficos e Topográficos

Um dos primeiros passos necessários ao desenvolvimento da modelagem da qualidade da água é a concepção de um modelo batimétrico, onde são consideradas as seguintes etapas:

- ✓ Obtenção de dados topográficos x, y, z ou dados provenientes de ambiente SIG, incluindo informações sobre os corpos d'água em análise;
- ✓ Criação linhas de centro e espaçamento da grade em x para cada braço do modelo
- ✓ Desenho de polígonos em volta de cada segmento do modelo e criação de uma curva cota-área-volume para cada segmento.

Os dados topográficos utilizados incluem curvas de nível com intervalo de 5 metros, derivados de levantamentos LiDAR, e curvas de nível com intervalos de 1 metro, específicas para as áreas limítrofes a reservas indígenas e parques nacionais, conforme apresentado na Figura 4.1.1.

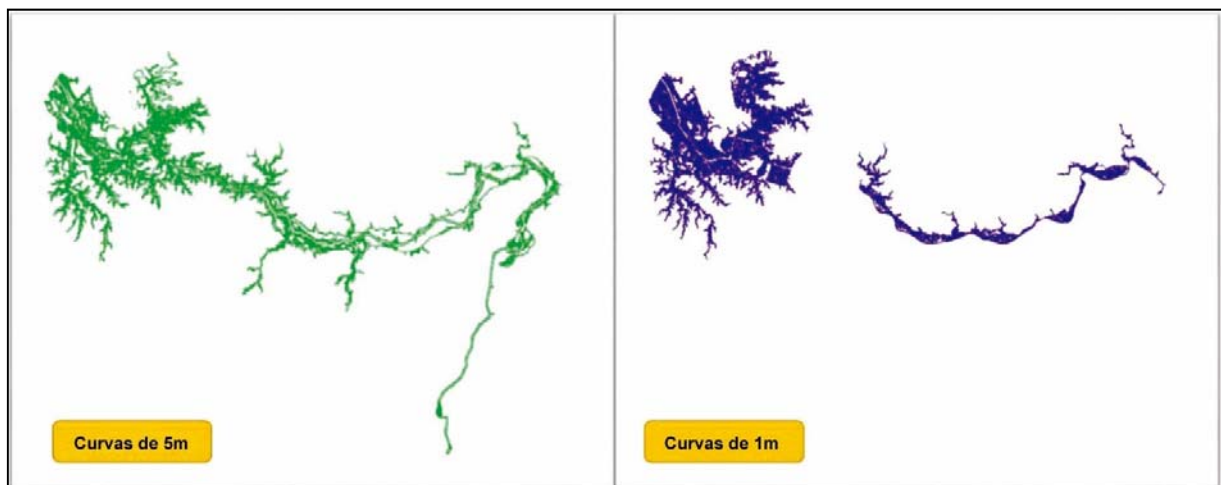


Figura 4.1.1 - Dados Topográficos Disponíveis em SIG

Na composição do modelo batimétrico são consideradas as seguintes especificações:

- ✓ Corpos d'água (uma coleção de braços do modelo que têm semelhante turbulência e valores de parâmetros de qualidade da água e de variáveis meteorológicas; um rio ou um reservatório)

- ✓ Braços (uma coleção de segmentos do modelo com características variáveis de vertente; um rio com diferentes inclinações ou um reservatório com múltiplos braços laterais)
- ✓ Segmentos (um segmento longitudinal de comprimento Δx)
- ✓ Camadas (uma camada vertical de altura Δz).

4.2 Segmentação do Reservatório

No processo de modelagem, o reservatório é representado por uma sequência de células horizontais interligadas através de elementos de canais por onde veiculam as vazões e os constituintes químicos e bioquímicos.

A segmentação do reservatório é realizada após uma análise cuidadosa dos fluxos que poderão ocorrer na área alagada, com nível de detalhamento compatível com os níveis de precisão desejados na modelagem.

Este trabalho é baseado em dados cartográficos e levantamentos topobatimétricos de seções transversais realizados ao longo do sistema hídrico que, tratados numericamente, permitem a definição dos dados de entrada do modelo matemático.

A delimitação dos segmentos é orientada pelos pontos notáveis que caracterizam o corpo d'água a ser simulado, identificando-se inicialmente os canais onde os escoamentos ocorrem com maior facilidade. Neste processo, a primeira delimitação deverá contemplar os compartimentos representativos do curso d'água principal, separando-os das porções laterais inundadas, onde as velocidades do fluxo d'água se processam de forma mais lenta.

Atenção especial é dispensada aos cursos d'água afluentes ao corpo principal que, dependendo de suas dimensões, deverão ser representadas por segmentos independentes. Nestes locais, em função dos altos tempos de residência, há geralmente a ocorrência de processos de eutrofização.

A partir destes conceitos, define-se o esquema topológico do sistema hídrico, caracterizado por um conjunto de compartimentos individualizados interligados entre si através de canais hipotéticos de drenagem.

Na Figura 4.2.1 é apresentado o esquema de compartimentação do reservatório a ser representado nos estudos de modelagem matemática. Neste processo o reservatório foi dividido em 10 segmentos, sendo 5 representativos do corpo central do reservatório e 5 segmentos dos braços tributários.

Na Figura 4.2.2 é apresentada a malha hídrica com a indicação da delimitação dos segmentos.

As vazões e cargas limnológicas afluentes são representadas pelos aportes aplicadas em sua extremidade de montante e aquelas provenientes das contribuições laterais, definidas pelos estudos hidrológicos.

A parcela relativa à defluência representam as vazões de saída do reservatório, as quais são definidas com base em suas regras operativas.

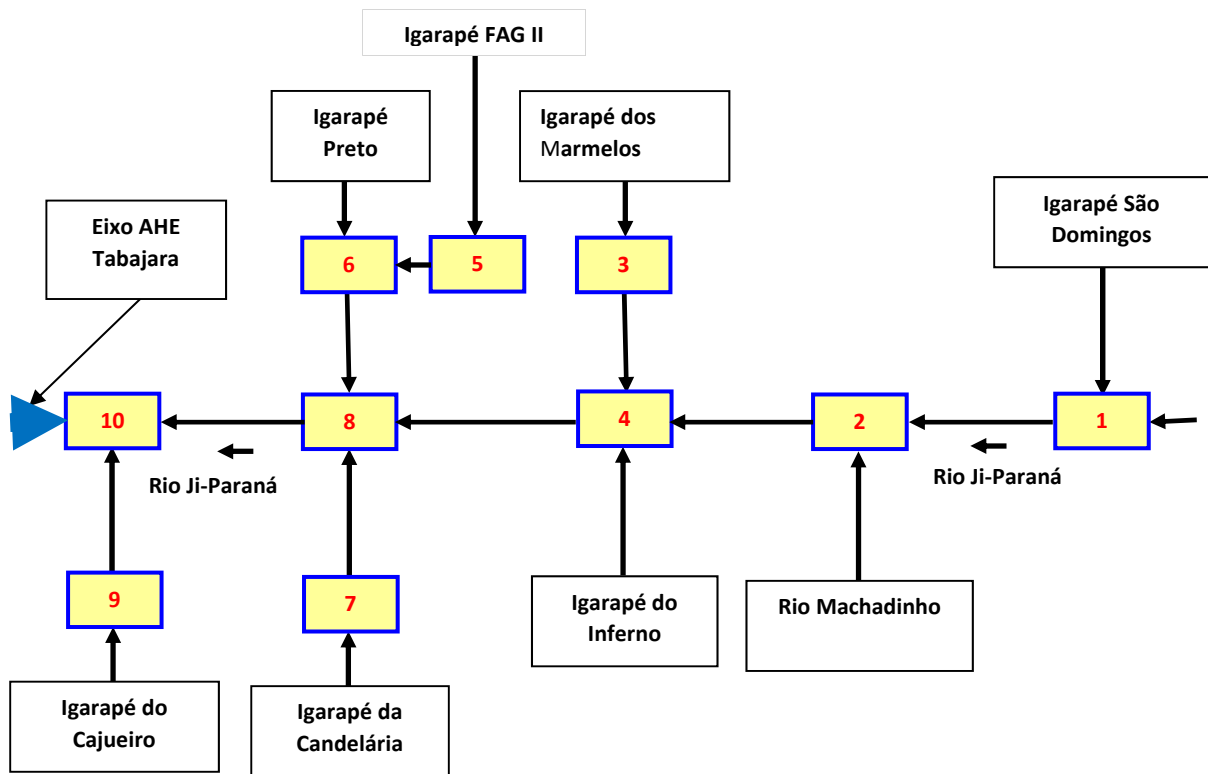


Figura 4.2.1 – Esquema de Compartimentação do Reservatório

Figura 4.2.2 – Delimitação dos Segmentos do Reservatório

4.3 Dados Climáticos

A composição da base de dados de entrada dos modelos matemáticos requer os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade e direção do vento, e cobertura de nuvens. Os dados meteorológicos foram obtidos a partir do Centro Nacional de Dados do Clima para a estação do Aeroporto de Porto Velho/Rondônia, conforme identificado na Tabela 4.3.1. Esta estação foi escolhida por ser a mais próxima ao AHE Tabajara, cuja disponibilidade de dados atende aos requisitos dos modelos matemáticos.

Tabela 4.3.1 - Estação meteorológica de Porto Velho

Nome da Estação	Código da Estação	Latitude	Longitude	Elevação (m)	Período do Registro
Porto Velho / Aeroporto	828240	-08,767	-63,917	90,0	1/11/1982 até 31/03/2014

A seguir são sintetizadas a base de dados meteorológicos utilizados na modelagem matemática, com a apresentação dos valores numéricos e histogramas médios mensais da temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, a velocidade do vento e a cobertura de nuvens, tendo como referência o período histórico observado entre 1º de janeiro de 2000 e 31 de março de 2014.

- **Temperatura do Ar**

Na Tabela 4.3.2 são apresentados os valores médios mensais da temperatura do ar e na Figura 4.3.1 o respectivo histograma médio mensal mínimo, médio e máximo compilado no período de análise.

O padrão médio mensal da temperatura do ar apresenta baixa amplitude de variação anual, com mínimas verificadas no mês de fevereiro com média de 25,9°C e máxima de 27,4°C incidentes geralmente no mês de agosto, o que perfaz uma variação média anual de 1,5°C.

Tabela 4.3.2 - Temperatura Média Mensal do Ar (°C)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Med.
2000	26,55	26,5	26,4	26,5	26,9	26,4	25,2	27,1	27,0	27,0	26,4	26,4	26,5
2001	25,4	25,6	25,8	26,4	26,2	24,7	25,9	27,6	26,6	27,5	26,8	26,3	26,2
2002	26,3	26,4	26,5	26,7	26,7	26,3	26,8	27,2	27,5	27,4	26,9	26,4	26,8
2003	26,7	26,4	26,4	26,7	27,0	26,8	26,8	26,9	26,8	27,3	26,7	26,9	26,8
2004	26,6	26,6	26,5	27,0	25,6	26,6	26,7	27,3	27,5	27,4	26,8	26,0	26,7
2005	26,3	26,0	25,8	26,1	26,5	26,6	25,6	26,7	26,2	26,8	26,9	26,0	26,3
2006	26,1	26,0	26,5	26,0	25,1	26,7	25,5	27,2	26,6	26,8	26,6	25,8	26,2
2007	26,0	25,9	25,9	26,3	25,2	26,2	26,2	27,2	27,4	26,5	26,3	25,9	26,2
2008	25,3	25,2	25,2	25,7	25,0	24,9	27,1	27,7	26,8	26,9	26,2	25,4	25,9
2009	25,6	25,3	25,7	25,8	25,8	25,3	25,9	27,0	27,3	27,5	26,7	25,7	26,1
2010	25,9	26,5	26,6	27,0	26,1	26,9	26,0	27,1	28,1	26,7	26,0	25,8	26,6
2011	25,2	25,1	27,1	27,6	28,1	28,4	28,5	28,7	28,4	28,2	27,8	27,3	27,5
2012	26,9	26,7	27,1	27,5	27,7	27,6	27,8	29,1	27,8	27,0	26,9	25,9	27,3
2013	25,8	25,6	26,3	26,3	26,2	26,5	25,6	26,2	26,9	26,5	25,9	26,1	26,2
2014	25,7	25,5	25,9										
Mín.	25,2	25,1	25,2	25,7	25,0	24,7	25,2	26,2	26,2	26,5	25,9	25,4	25,9
Méd.	26,0	25,9	26,2	26,5	26,3	26,4	26,4	27,4	27,2	27,1	26,6	26,1	26,5
Máx.	26,9	26,7	27,1	27,6	28,1	28,4	28,5	29,1	28,4	28,2	27,8	27,3	27,5

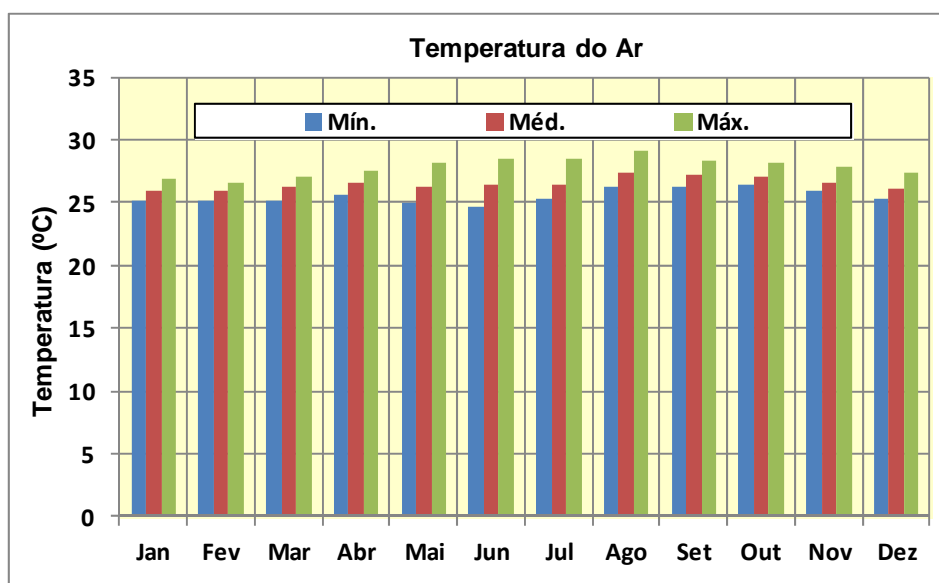


Figura 4.3.1 - Histograma Médio Mensal da Temperatura do Ar

- **Temperatura do Ponto de Orvalho**

Na Tabela 4.3.3 são apresentados os valores médios mensais da temperatura do ponto de orvalho e na Figura 4.3.2 o respectivo histograma médio mensal mínimo, médio e máximo.

O padrão médio mensal da temperatura do ponto de orvalho apresenta baixa amplitude de variação anual, com mínimas verificadas no mês de agosto com média de 20,8°C e máxima de 24,2°C incidentes geralmente no mês de abril.

Tabela 4.3.3 - Temperatura do Ponto de Orvalho (°C)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
2000	24,3	24,2	23,7	23,8	23,3	22,3	20,2	22,1	22,5	23,4	23,8	23,7	23,1
2001	23,6	23,9	24,2	24,6	24,3	21,9	23,3	22,0	23,8	24,5	24,9	25,0	23,8
2002	25,0	24,9	25,0	25,2	25,1	23,6	23,7	24,2	24,3	24,8	25,1	25,3	24,7
2003	25,5	25,2	25,1	25,3	25,0	24,4	22,3	22,1	23,7	25,1	25,2	25,5	24,5
2004	25,6	25,4	25,5	25,8	24,5	23,7	23,2	22,9	24,1	25,4	24,8	23,7	24,6
2005	24,0	24,0	24,1	23,6	23,9	22,5	20,0	20,1	20,9	23,1	23,6	24,3	22,8
2006	24,3	24,6	24,3	24,0	21,8	22,3	20,7	21,3	21,3	22,5	22,9	23,4	22,8
2007	20,7	23,1	22,8	23,9	22,8	21,9	21,0	20,3	22,6	23,4	23,9	24,0	22,5
2008	23,7	23,4	23,4	23,8	21,8	21,0	19,4	20,6	21,7	22,4	23,4	23,3	22,3
2009	23,4	23,3	23,4	23,4	22,6	22,3	21,8	21,7	22,1	23,0	23,7	23,6	22,9
2010	23,7	24,1	24,3	23,6	22,6	21,9	19,6	17,4	21,5	22,5	23,2	23,1	22,3
2011	23,0	22,9	23,8	24,1	23,0	21,8	20,8	19,3	22,7	23,4	23,9	24,1	22,7
2012	23,9	23,6	23,6	24,1	23,5	23,1	20,6	18,8	21,1	22,2	22,8	22,6	22,5
2013	23,1	22,8	22,9	22,9	22,8	22,4	20,1	18,3	21,3	22,4	22,7	23,1	22,1
2014	22,7	22,8	23,1										
Mín.	20,7	22,8	22,8	22,9	21,8	21,0	19,4	17,4	20,9	22,2	22,7	22,6	22,1
Méd.	23,8	23,9	23,9	24,2	23,3	22,5	21,2	20,8	22,4	23,4	23,8	23,9	23,1
Máx.	25,6	25,4	25,5	25,8	25,1	24,4	23,7	24,2	24,3	25,4	25,2	25,5	24,7

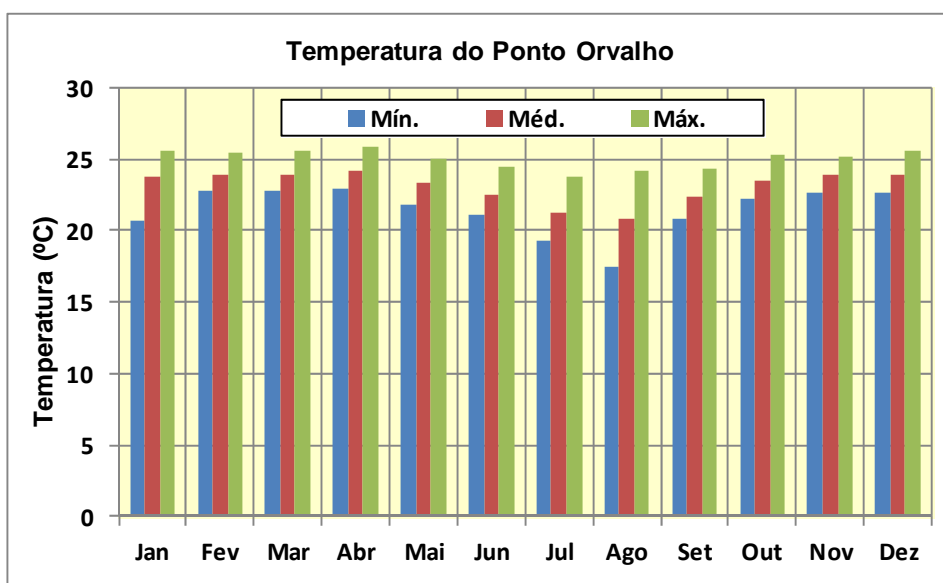


Figura 4.3.2 - Histograma Médio Mensal da Temperatura do Ponto de Orvalho

- **Velocidade do Vento**

Na Tabela 4.3.4 são apresentados os valores médios mensais da velocidade do vento e na Figura 4.3.3 o respectivo histograma médio mensal mínimo, médio e máximo compilado no período de análise.

A velocidade média mensal do vento apresentam variações entre 0,6 a 0,7 m/s atuando predominante na direção norte, conforme rosa dos ventos ilustrada na Figura 4.3.4.

Tabela 4.3.4 - Velocidade Média dos Ventos (m/s)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
2000	0,98	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8
2001	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
2002	0,9	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
2003	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
2004	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
2005	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6
2006	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6
2007	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6
2008	0,6	0,6	0,7	0,5	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
2009	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
2010	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7
2011	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6
2012	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
2013	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7
2014	0,7	0,7	0,7										
Mín.	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Méd.	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
Máx.	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8

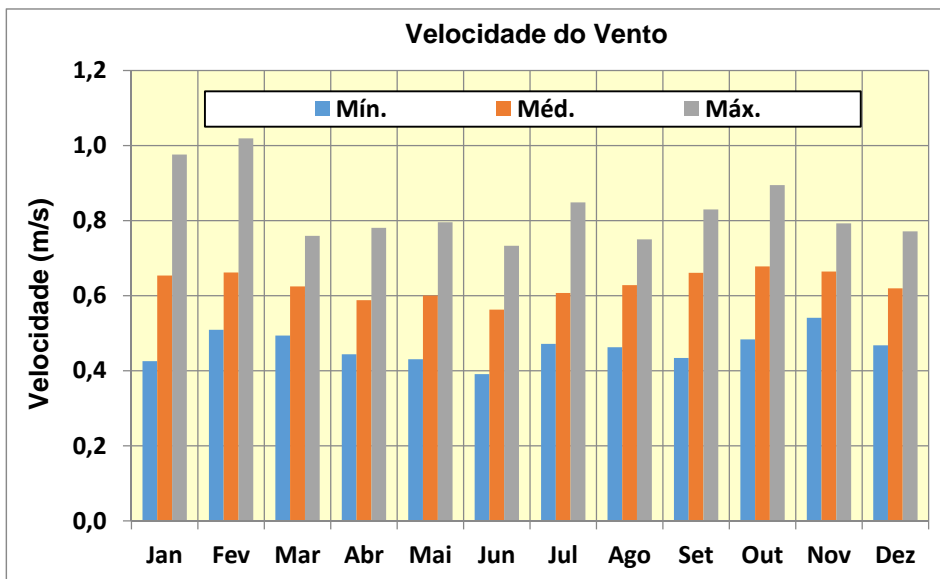


Figura 4.3.3 - Histograma Médio Mensal da Velocidade do Vento

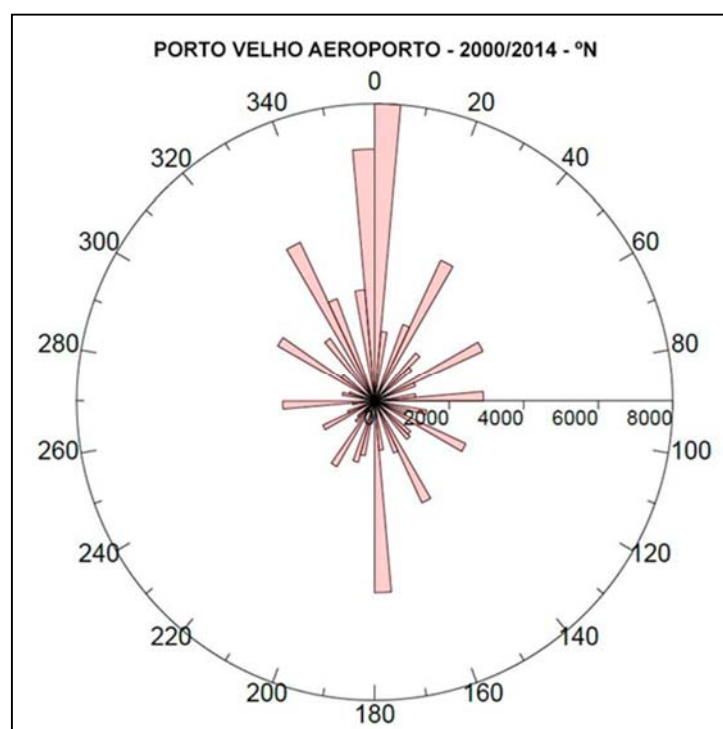


Figura 4.3.4 - Direção do Vento no Aeroporto de Porto Velho

- **Nebulosidade**

Na Tabela 4.3.5 são apresentados os valores médios mensais da nebulosidade e na Figura 4.3.5 o respectivo histograma médio mensal mínimo, médio e máximo compilado no período de análise.

A nebulosidade do ar apresentam amplas variações ao longo do ano, apresentando um padrão sazonal inverso do observado para o regime de precipitação, com índices máximos de coberturas de nuvem de 70% no período de dezembro a março. Índices mínimos de cobertura de nuvem de 20% são verificados entre os meses de julho e agosto.

Tabela 4.3.5 - Nebulosidade Média do Ar (0-10)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Med.
2000	7	8	7	7	5	4	3	4	5	5	7	7	6
2001	7	7	8	7	6	4	4	1	4	4	6	7	6
2002	7	7	7	6	5	2	3	3	4	5	6	7	5
2003	7	7	8	7	5	4	2	2	4	6	6	6	5
2004	7	7	7	6	6	3	3	2	4	6	7	7	5
2005	6	8	7	6	5	3	2	2	3	6	6	7	5
2006	7	8	8	8	4	3	2	2	4	6	7	8	6
2007	8	8	8	7	6	2	3	1	3	6	8	7	6
2008	8	7	8	6	6	4	1	2	5	5	7	8	6
2009	8	8	7	7	6	5	3	3	4	5	7	8	6
2010	8	8	7	5	5	3	2	4	3	6	6	6	5
2011	7	7	7	6	3	1	2	2	4	5	5	7	5
2012	7	7	7	5	4	3	2	1	3	5	6	6	5
2013	7	6	6	5	5	3	3	2	4	6	7	6	5
2014	6	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mín.	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Méd.	7	7	7	6	5	3	2	2	4	5	6	7	5
Máx.	8	8	8	8	6	5	4	4	5	6	8	8	6

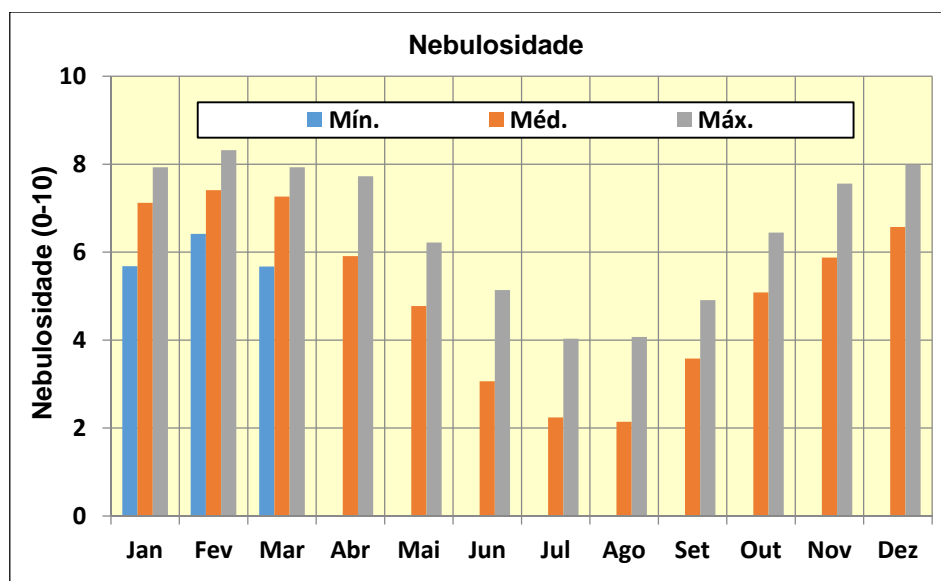


Figura 4.3.5 - Histograma Médio Mensal da Nebulosidade

4.4 Caracterização dos Reatores de Mistura Completa

Os dados de entrada do modelo hidráulico basearam fundamentalmente nos elementos geométricos extraídos da restituição aerofotogramétrica do reservatório, dados do perfilamento a laser e dos levantamentos topobatimétricos de seções transversais, disponibilizadas em formato DWG.

Para a definição destes parâmetros utilizaram-se os recursos disponíveis do software AutoCAD e de programas utilitários de tratamento numérico, que permitiu a compilação e a formatação dos dados de entrada da modelagem.

Na formatação dos dados de entrada do modelo hidráulico, cada reator é caracterizado através de pares de pontos relacionando à cota do nível d'água, a área da superfície líquida e o volume ocupado.

Os valores das relações cota-área-volume do espelho d'água associados a cada reator são apresentados nas Tabelas 4.4.1 e 4.4.2.

Os valores apresentados, a cada metro de variação de nível d'água, foram extrapolados até a cota 85,0 m tendo em vista suprir a variação dos níveis d'água requisitados durante o processamento do modelo matemático.

Ressalta-se que a cota do nível d'água 80,0 m refere-se ao local do eixo do AHE Tabajara, onde os níveis d'água, obedecendo às linhas d'água definidas pelos estudos de remanso, se elevam à medida que adentra para o interior do reservatório, conforme apurados pelos estudos de remanso.

Os canais virtuais, interligando os vários segmentos, são retratados através de uma variável denominada condutância, definida também a partir de pares de pontos relacionadas à cota do nível d'água. A estimativa destes dados é realizada através da seguinte expressão:

$$K_{ij} = A_{ij} * RH_{ij}^{2/3} / (n * \Delta X_{ij}^{1/2})$$

Onde:

A_{ij} = área da seção transversal do canal virtual em função da cota do N.A., em m²;

RH_{ij} = raio hidráulico para uma dada cota, em m;

n = coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning e

ΔX_{ij} = distância entre os centros dos segmentos i e j em m.

Tabela 4.4.1 - Curvas Cota-Área-Volume dos Segmentos

Cota (m)	Segmento 1		Segmento 2		Segmento 3		Segmento 4		Segmento 5	
	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
68,0	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000
69,0	-	-	-	-	-	0,000	0,038	0,036	0,000	0,000
70,0	-	-	-	-	-	0,000	0,097	0,129	0,011	0,010
71,0	-	-	-	-	0,000	0,000	0,297	0,410	0,023	0,032
72,0	-	-	-	-	0,017	0,015	0,980	1,325	0,063	0,091
73,0	-	-	0,000	0,000	0,017	0,031	1,829	3,013	0,108	0,191
74,0	-	-	0,023	0,021	0,017	0,046	2,285	5,100	0,187	0,362
75,0	0,000	0,000	0,114	0,124	0,017	0,062	2,902	7,722	0,268	0,604
76,0	0,041	0,037	0,383	0,467	0,047	0,105	7,368	14,429	0,410	0,981
77,0	0,061	0,091	1,200	1,528	0,077	0,175	8,846	22,466	0,590	1,517
78,0	0,596	0,608	2,793	3,972	0,282	0,423	10,819	32,253	0,883	2,310
79,0	1,433	1,843	5,481	8,724	0,425	0,793	13,328	44,238	1,246	3,417
80,0	4,943	6,043	9,952	17,273	0,722	1,417	17,655	59,942	1,710	4,922
81,0	10,333	14,741	47,924	57,657	1,139	2,373	32,539	87,184	2,226	6,782
82,0	12,899	25,590	57,767	106,273	1,789	3,876	37,244	118,344	2,859	9,173
83,0	18,012	40,743	66,398	162,090	2,630	6,089	41,071	152,675	3,615	12,199

Cota (m)	Segmento 1		Segmento 2		Segmento 3		Segmento 4		Segmento 5	
	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
84,0	29,174	65,326	75,911	225,849	3,725	9,225	45,395	190,597	4,493	15,963
85,0	39,693	98,789	85,995	298,033	5,125	13,542	50,946	233,149	5,554	20,620

Tabela 4.4.2 - Curvas Cota-Área-Volume dos Segmentos

Cota (m)	Segmento 6		Segmento 7		Segmento 8		Segmento 9		Segmento 10	
	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
55,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000
56,0	-	-	-	-	0,000	0,000	-	-	0,045	0,270
57,0	-	-	-	-	0,014	0,011	-	-	0,112	0,632
58,0	-	-	-	-	0,062	0,068	-	-	0,282	1,178
59,0	-	-	-	-	0,283	0,321	-	-	1,684	2,945
60,0	-	-	-	-	1,543	1,661	-	-	3,267	6,349
61,0	-	-	-	-	1,964	3,348	-	-	3,417	9,348
62,0	-	-	-	-	2,105	5,242	-	-	3,762	12,794
63,0	-	-	-	-	2,240	7,349	-	-	4,153	16,756
64,0	-	-	-	-	2,382	9,688	0,000	0,000	4,458	21,188
65,0	-	-	-	-	2,652	12,395	0,005	0,005	4,882	26,230
66,0	0,000	0,000	-	-	3,109	15,380	0,029	0,033	5,463	31,477
67,0	0,011	0,010	-	-	3,641	18,874	0,038	0,069	6,033	37,270
68,0	0,028	0,037	-	-	4,296	22,994	0,045	0,113	6,604	43,610
69,0	0,110	0,143	-	-	4,967	27,757	0,053	0,163	7,303	50,620
70,0	0,340	0,467	0,000	0,000	5,784	33,301	0,061	0,221	8,077	58,371
71,0	0,639	1,071	0,011	0,010	6,904	39,830	0,070	0,288	9,110	66,994
72,0	0,937	1,946	0,117	0,120	8,417	47,701	0,086	0,368	10,216	76,554
73,0	1,200	3,054	0,288	0,386	10,634	57,534	0,122	0,481	11,738	87,417
74,0	1,456	4,384	0,534	0,874	12,638	69,091	0,247	0,706	12,939	99,260
75,0	1,779	5,992	0,805	1,601	14,066	81,816	0,403	1,071	14,145	112,068
76,0	2,204	8,073	1,218	2,716	15,288	97,058	0,650	1,670	16,283	128,804
77,0	2,712	10,608	1,737	4,292	16,675	113,587	0,952	2,538	18,828	147,847
78,0	3,407	13,759	2,447	6,491	18,271	131,581	1,346	3,750	21,294	169,118
79,0	4,155	17,566	3,174	9,322	20,059	151,196	1,738	5,304	24,775	193,469
80,0	5,096	22,188	4,116	12,964	21,767	172,358	2,177	7,238	28,171	220,816
81,0	6,089	27,246	5,114	17,233	22,448	190,671	2,713	9,501	30,921	246,102
82,0	7,224	33,251	6,204	22,413	23,343	209,700	3,281	12,239	32,559	272,716
83,0	8,607	40,414	7,464	28,649	24,195	229,407	3,967	15,552	33,302	299,900
84,0	10,291	48,990	9,195	36,338	24,777	249,563	4,690	19,471	34,076	327,679
85,0	12,459	59,387	11,144	45,667	25,445	270,241	5,569	24,127	35,231	356,375

4.5 Vazões Afluentes e Defluentes do Reservatório

As vazões afluentes ao reservatório foram definidas a partir das vazões médias mensais de longo termo, adotando-se como padrão, a média mensal compilada entre janeiro de 1931 a junho de 2015 definidas para o eixo do AHE Tabajara. Nesta condição, a modelagem matemática considera um

padrão sazonal de vazão afluente associada a uma condição hidrológica média de vazão afluente ao corpo do reservatório.

As vazões afluentes laterais ao reservatório provenientes dos tributários laterais e a montante foram apuradas através da proporcionalidade das respectivas áreas das bacias contribuintes, considerando-se a produtividade hídrica apurada no local do eixo expressa em L/s/km².

Na Tabela 4.5.1 são apresentadas as áreas das bacias contribuintes respectivas de cada curso afluente, onde foram identificados os 7 trechos em que o reservatório foi caracterizado, os pontos de afluições de vazões, a identificação do curso d'água e a área da bacia contribuinte.

Os Trechos 01 e 02 correspondem as extensões do corpo central do reservatório, os Trechos 03; 04; 05 e 07 aos braços tributários contribuintes ao corpo central do reservatório e o Trecho 06, o braço tributário afluente pela margem esquerda do Trecho 05.

O esquema de aportes de vazões laterais ao corpo do reservatório consideram ainda os cursos tributários dos Igarapés São Domingos, Rio Machadinho e Igarapé do Inferno todos afluentes da margem esquerda do rio Ji-Paraná (Trecho 01).

Tabela 4.5.1: Área das Bacias Contribuintes dos Segmentos

Afluência	Segmento	Curso d'água	Local	Área (km ²)
Q-01	01	Ji-Paraná	Corpo Central	53.704,0
Q-02	01	Igarapé São Domingos	Margem Direita Corpo Central	200,74
Q-03	02	Rio Machadinho	Margem Esquerda Corpo Central	5.476,2
Q-04	03	Igarapé dos Marmelos	Margem Esquerda Corpo Central	118,54
Q-05	04	Igarapé do Inferno	Margem Esquerda Corpo Central	753,73
Q-06	05	Igarapé FAG II	Margem Esquerda Igarapé Preto	7,0
Q-07	06	Igarapé Preto	Margem Direita Corpo Central	146,5
Q-08	07	Igarapé Candelária	Margem Esquerda Corpo Central	51,75
Q-09	09	Igarapé Cajueiro	Margem Esquerda Corpo Central	69,55

Na Tabela 4.5.2 são discriminados os valores das vazões médias mensais afluentes a cada compartimento do reservatório. Nas Figuras 4.5.1 são integrados os histogramas de vazões aportadas a montante no rio Ji-Paraná e lateralmente (rio Machadinho) no segmento 01 e liberadas no segmento 02. Na Figura 4.5.2 são integrados os demais histogramas afluentes com faixas menores de vazões afluentes, considerando-se os aportes nos segmentos 03 a 07 e os afluentes laterais Igarapés São Domingos e do Inferno aportados ao segmento 01.

Tabela 4.5.2 - Vazões Médias Mensais Afluentes (m³/s)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Seg-01 Q_Montante	2299,8	2820,7	3281,7	2432,9	1414,4	821,10	519,11	343,99	292,17	376,15	663,85	1327,7
Igarapé São Domingos	8,60	10,54	12,27	9,09	5,29	3,07	1,94	1,29	1,09	1,41	2,48	4,96
Rio Machadinho	234,51	287,63	334,64	248,09	144,22	83,73	52,93	35,08	29,79	38,36	67,69	135,39
Igarapé do Inferno	32,17	39,46	45,91	34,04	19,79	11,49	7,26	4,81	4,09	5,26	9,29	18,57
Seg-03	5,08	6,23	7,24	5,37	3,12	1,81	1,15	0,76	0,64	0,83	1,47	2,93
Seg-05	0,30	0,37	0,42	0,31	0,18	0,11	0,07	0,04	0,04	0,05	0,09	0,17
Seg-06	6,27	7,69	8,95	6,64	3,86	2,24	1,42	0,94	0,80	1,03	1,81	3,62
Seg-07	2,22	2,72	3,16	2,34	1,36	0,79	0,50	0,33	0,28	0,36	0,64	1,28
Seg-09	2,98	3,65	4,25	3,15	1,83	1,06	0,67	0,45	0,38	0,49	0,86	1,72
Seg-10 Q_Jusante	2591,7	3178,7	3698,3	2741,8	1593,9	925,33	585,00	387,65	329,25	423,90	748,12	1496,2

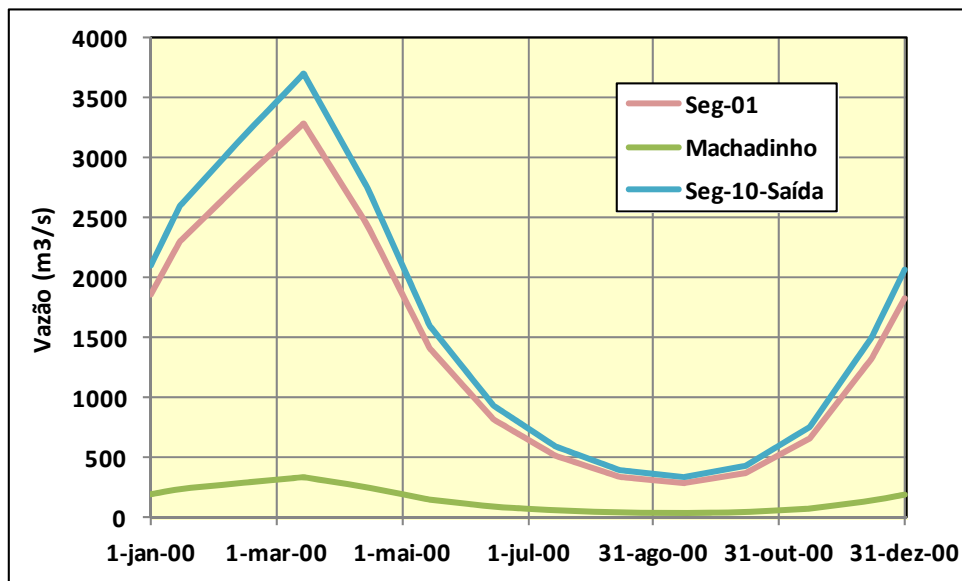


Figura 4.5.1 – Histograma de Vazão Média Mensal

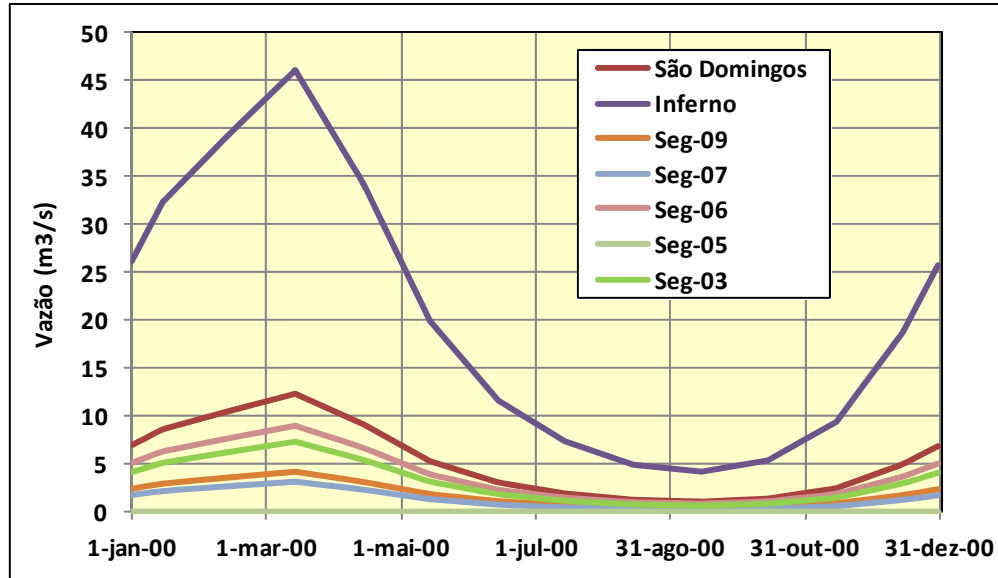


Figura 4.5.2 – Histograma de Vazão Média Mensal

4.6 Dados de Qualidade da Água

Compreendem os parâmetros de natureza química e física disponíveis de campanhas de qualidade da água realizadas na área de influência do reservatório do AHE Tabajara.

As amostragens desenvolvidas no âmbito dos estudos do EIA do AHE Tabajara compreenderam quatro campanhas de coleta de qualidade da água, realizadas entre os anos de 2013 e 2014 nas janelas hidrológicas de vazante, seca, enchente e cheia completando um ciclo hidrológico de vazão nas seguintes datas:

- Primeira Campanha: Época de vazante - realizada de 26/06/2013 a 19/07/2013
- Segunda Campanha: Época de seca - realizada de 03/09/13 a 26/09/2013
- Terceira Campanha: Época de enchente - realizada de 18/11/13 a 12/12/13
- Quarta Campanha: Época de cheia - 06/03/14 a 28/03/14

As campanhas de amostragens constaram de 40 pontos de coleta, distribuídos em pontos localizados no curso do rio Ji-Paraná, tributários contribuintes, lagoas, pedrais, bancos de areia.

Desta base de informações, foi selecionado um conjunto de estações representativas para a formalização dos dados de entrada da modelagem matemática, conforme locais relacionados na Tabela 4.6.1 e ilustrados na Figura 4.6.1.

Tabela 4.6.1 - Pontos de Amostragem de Qualidade da Água – Eia/Rima

Estação	Curso d'água	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
P2	Canal do Rio Ji-Paraná	62° 11' 57.46" W	8° 51' 13.68" S
P3	Canal do Rio Ji-Paraná	62° 10' 7.17" W	8° 54' 43.99" S
P4	Canal do Rio Ji-Paraná	62° 3' 32.97" W	8° 55' 48.52" S
P5	Canal do Rio Ji-Paraná	61° 50' 39.80" W	9° 2' 21.10" S
P6	Canal do Rio Ji-Paraná	61° 39' 35.46" W	9° 0' 34.34" S
P24	Tributário MD rio São Domingo PARNA	61° 39' 7.69" W	8° 56' 20.27" S
P25	Tributário MD igarapé dos Marmelos PARNA	61° 55' 34.47" W	8° 57' 13.71" S
P26	Tributário MD igarapé Preto 1 limite PARNA	62° 5' 11.85" W	8° 52' 37.09" S
P27	Tributário MD igarapé Preto 2 limite PARNA	62° 5' 52.36" W	8° 49' 52.54" S
P28	Tributário ME rio Machadinho 1	61° 48' 25.54" W	9° 3' 50.72" S
P29	Tributário ME rio Machadinho 2	61° 56' 52.60" W	9° 23' 33.81" S
P30	Tributário ME igarapé do Inferno	61° 54' 25.61" W	9° 2' 26.80" S

Fonte: Campanhas de Qualidade da Água – EIA do AHE Tabajara

Figura 4.6.1 – Localização dos Pontos de Amostragem de Qualidade da Água

Nas Tabelas 4.6.2 a 4.6.7 são apresentados os dados dos parâmetros monitorados de qualidade da água, relativas a cada campanha de coleta, de interesse para a modelagem matemática e que permitiram a formulação da base de dados de entrada.

Os valores constantes da Tabela 4.6.2 procuram refletir as características do rio Ji-Paraná, onde foram consideradas as médias obtidas das campanhas realizadas nos Pontos 02 a 06.

Tabela 4.6.2 - Parâmetros de Qualidade da Água – Rio Ji-Paraná

Parâmetro	1 ^a Campanha	2 ^a Campanha	3 ^a Campanha	4 ^a Campanha
Temperatura da Água	28,8	30,0	27,7	27,0
Oxigênio Dissolvido	5,79	6,78	6,15	5,08
DBO	2,29	1,50	1,60	1,00
Nitrogênio Orgânico	0,21	0,32	1,03	0,75
Nitrato	0,11	0,10	0,14	0,10
Amônia	<0,10	<0,10	0,15	<0,10
Fósforo Total	0,25	0,05	0,10	0,06
Ortofosfato	0,05	<0,05	0,06	0,07
Clorofila_a	3,4	<3	<3	<3

Tabela 4.6.3 - Parâmetros de Qualidade da Água – Igarapé São Domingos

Parâmetro	1 ^a Campanha	2 ^a Campanha	3 ^a Campanha	4 ^a Campanha
Temperatura da Água	24,4	29,4	24,7	26,0
Oxigênio Dissolvido	4,17	6,43	7,46	1,94
DBO	2,50	<1,0	<1,0	<1,0
Nitrogênio Orgânico	0,22	0,86	2,75	0,81
Nitrato	<0,1	<0,1	0,10	<0,1
Amônia	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fósforo Total	0,07	0,04	0,02	0,03
Ortofosfato	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Clorofila_a	<3	<3	<3	<3

Tabela 4.6.4 - Parâmetros de Qualidade da Água – Igarapé dos Marmelos

Parâmetro	1 ^a Campanha	2 ^a Campanha	3 ^a Campanha	4 ^a Campanha
Temperatura da Água	25,1	27,0	25,6	26,2
Oxigênio Dissolvido	3,75	2,28	5,85	3,75
DBO	1,00	2,00	1,00	<1,00
Nitrogênio Orgânico	0,19	0,72	3,20	0,33
Nitrato	<0,1	<0,1	<0,1	0,10
Amônia	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fósforo Total	0,16	0,06	<0,1	<0,1
Ortofosfato	0,08	<0,05	<0,05	<0,05
Clorofila_a	<3	<3	<3	<3

Tabela 4.6.5 - Parâmetros de Qualidade da Água – Igarapé Preto

Parâmetro	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha
Temperatura da Água	24,3	26,7	25,7	25,3
Oxigênio Dissolvido	5,88	6,14	7,31	5,82
DBO	1,50	1,00	<1,00	<1,00
Nitrogênio Orgânico	0,21	0,57	0,39	0,41
Nitrato	0,30	<0,10	<0,10	<0,10
Amônia	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Fósforo Total	0,05	0,04	0,02	0,05
Ortofosfato	0,09	<0,05	0,87	<0,05
Clorofila_a	<3	<3	<3	<3

Tabela 4.6.6 - Parâmetros de Qualidade da Água – Rio Machadinho

Parâmetro	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha
Temperatura da Água	25,6	28,5	26,7	25,3
Oxigênio Dissolvido	4,54	7,44	6,07	4,20
DBO	2,50	1,00	1,00	<1,0
Nitrogênio Orgânico	0,19	0,25	0,53	0,84
Nitrato	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Amônia	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Fósforo Total	0,14	0,07	0,02	0,04
Ortofosfato	<0,05	0,10	<0,05	0,12
Clorofila_a	<3	<3	<3	<3

Tabela 4.6.7 - Parâmetros de Qualidade da Água – Igarapé do Inferno

Parâmetro	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha
Temperatura da Água	25,5	27,9	25,8	25,9
Oxigênio Dissolvido	7,01	6,00	5,96	6,46
DBO	2,00	<1,0	2,00	<1,0
Nitrogênio Orgânico	0,42	0,49	0,55	0,28
Nitrato	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Amônia	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fósforo Total	0,12	0,07	0,01	0,06
Ortofosfato	<0,05	0,09	<0,05	<0,05
Clorofila_a	<3	<3	<3	<3

Análise dos parâmetros de qualidade da água

- **Temperatura da Água**

Alterações de temperatura são parte do regime climático e os corpos d'água (tanto lóticos quanto lênticos) apresentam variações sazonais e diurnas em função do regime de variação de temperatura do ar, bem como estratificação térmica vertical em ambientes lênticos. A principal fonte de calor para os sistemas aquáticos é a radiação solar, uma vez que, dependendo da largura do canal, os ambientes lóticos têm suas superfícies expostas diretamente aos raios

solares. Normalmente, a temperatura varia em função das estações do ano, i.e. acompanhando a escala sazonal e o período diário. Varia, também, entre as localidades em que os ambientes aquáticos estão inseridos devido às: (i) distintas posições de latitude e altitude, (ii) profundidade do corpo de água, (iii) extensão da área sombreada pela vegetação ripária (considerando apenas pequenos córregos e riachos) e (iv) contribuição pela adução de água subterrânea. As flutuações nas temperaturas diárias são comuns, sobretudo, em pequenos riachos e córregos devido às variações na temperatura do ar durante o dia e a noite e a absorção da radiação solar durante o dia (Allan & Castillo, 2007). O rio Ji-Paraná foi o ambiente no qual as temperaturas da água foram sempre mais elevadas. Em média, a temperatura da água desse ambiente foi 28,4 °C. A temperatura mais elevada foi determinada na vazante (junho/julho) e a menor em novembro/dezembro (enchente). Considerando todos os rios a temperatura média foi mais elevada na seca (28,2 °C) e a maior (30,0 °C). É possível notar pequena variação estacional dessa variável, sendo 4,6% o seu coeficiente de variação.

- **Oxigênio Dissolvido**

Nos ambientes aquáticos, as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) decorrem do balanço entre os processos de perda e de entrada de O₂. Os ganhos nas concentrações de OD são provenientes essencialmente de quatro fontes: (i) a fotossíntese; (ii) a fotólise (quebra pela radiação solar); (iii) a aeração por movimentação das águas lólicas e (iv) a difusão do O₂ atmosférico. Essa variável é influenciada nos ambientes continentais pela temperatura e pela pressão parcial da água (Allan & Castillo, 2007). As perdas deste elemento para a atmosfera ou para a coluna de água podem ocorrer por: (i) depleção do O₂ durante a oxidação da matéria orgânica; (ii) perdas para a atmosfera por difusão; (iii) respirações dos organismos e (iv) atividade iônica (USGS, 2008). Quando todo OD é deplecionado, as mudanças no potencial de oxi-redução promovem tanto nos sedimentos quanto na coluna dá água, as dissoluções de metais e de alguns nutrientes (Wetzel, 1983); dessa forma, a disponibilidade de OD pode afetar, direta ou indiretamente, tanto a vida aquática quanto os ciclos biogeoquímicos uma vez que sua disponibilidade condicionada à ocorrência dos processos metabólicos aeróbios ou anaeróbios. Em média, as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) foram maiores em setembro (época de seca). No rio Ji-Paraná, principal tributário do reservatório, as concentrações de OD variaram de 5,08 (cheia) a 6,78 mg/L (seca). O rio Marmelos apresentou as menores concentrações, em média a concentração de OD foi 3,91 mg/L. As concentrações médias de OD do Igarapé Preto, Machadinho e Igarapé do Inferno foram 6,29, 5,56 e 6,23 mg/L.

As baixas concentrações do Oxigênio Dissolvido observadas em vários pontos (seja no canal principal ou tributários) e períodos de coleta foram associadas às cargas de sólidos (totais, dissolvidos totais e em suspensão totais), bem como ao aporte de matéria orgânica oriunda da bacia hidrográfica. As baixas concentrações de oxigênio dissolvido na Amazônia são condicionadas por processos inerentes às características da bacia hidrográfica e não pela ação antrópica (Casagrande et al, 2006), o que corrobora com as características da bacia do rio Ji-Paraná, no trecho avaliado para este estudo. Outro fator característico desta região é o arraste da matéria orgânica oriundo das planícies de inundação, o qual aumenta no período de descida das águas, conforme identificado por Richey et al. (1988) e Sperling (2007) pode ter efeito significativo na redução de oxigênio dissolvido, principalmente quando associado à temperaturas mais elevadas. Valores semelhantes de baixas concentrações de oxigênio dissolvido em ambientes naturais de rios da Amazônia também foram observados por Aprile e Darwich (2009), Rodriguez et al. (2009), Esteves (1998) e Junk (1980).

- **DBO**

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio potencialmente necessária para consumir a matéria orgânica biodegradável contida em uma amostra de água. Representa a matéria orgânica biodegradada aerobicamente em um dado volume de água (Weiner, 2013). Quanto maior a concentração de DBO, maior a tendência de redução da concentração do oxigênio dissolvido. Os valores de DBO foram baixos em todos os rios selecionados. Considerando todos os rios e estações, o valor médio dessa variável foi 1,47 mg/L, com coeficiente de variação de 24%. Em média, o Igarapé do Inferno foi o ambiente que apresentou o maior valor (2 mg/L). No rio Ji-Paraná, principal tributário do reservatório, a DBO variou de 2,3 (março; vazante) a 1,0 mg/L (época de cheia; março).

- **Fósforo Total**

O fósforo encontra-se nas formas orgânicas e inorgânicas. Os processos de absorção pelos produtores primários, em geral, ocorre com o ortofosfato. Por representar, normalmente, um elemento nutriente limitante, as formas iônicas de fósforo geralmente encontram-se abaixo dos limites de detecção dos métodos analíticos e, por este motivo, é comum em inventários limnológicos, a utilização da concentração do fósforo total, que representa o somatório das frações orgânicas, inorgânicas, dissolvidas e particuladas.

As concentrações de Fósforo Total na campanha da vazante (1ª campanha), nos pontos P5 (Canal Principal do rio Ji-Paraná), P25 (Tributário Igarapé dos Marmelos) e P28 (Tributário do rio Machadinho), encontraram-se acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 e foram atribuídas à proximidade do PARNA (P5, P25), que embora seja um uma área de parque dos campos amazônicos, também contribui para o aporte de material alóctone ao sistema, além da presença de fragmentos vegetais na água, envolvendo processos de mineralização e ciclagem de nutrientes no corpo hídrico. Para o ponto P28, tributário rio Machadinho, a possível origem do fósforo pode ser decorrente da influência do trecho urbano localizado a montante do ponto de coleta, bem como à menor diluição dos nutrientes na época de estiagem. Efeitos da urbanização e da variação do nível da água (enchente, cheia, vazante e seca) na variação da concentração de nutrientes (espacial e temporalmente) têm sido registrados para diversos sistemas (TUCCI, 2002; CAMPANA & TUCCI, 2001; MARINELLI *et al.*, 2000). Especificamente para os Pontos P25 (Igarapé dos Marmelos) e P28 (rio Machadinho – próximo à confluência com o rio Ji-Paraná), é importante destacar que as concentrações registradas (de 0,16 mg/L em ambos os pontos), ainda que acima estão próximas ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA (0,1 mg/L).

- **Ortofosfato**

O Igarapé Preto foi o ambiente no qual foi registrada a maior concentração de ortofosfato (0,87 mg/L). No geral, as concentrações de ortofosfato foram mais elevadas nos períodos de seca (setembro) e enchente (novembro/dezembro).

- **Nitrogênio Orgânico**

O N-total pode ser encontrado nos compostos dissolvidos ou nas estruturas em suspensão. Na forma orgânica, está presente, basicamente, nas proteínas, nos peptídeos, nos aminoácidos, na ureia e nos compostos húmicos (Esteves, 1998). Em média, o nitrogênio orgânico (N-org) apresentou as maiores concentrações na seca (setembro). No rio Ji-Paraná as concentrações de N-org variaram de 0,21 e 1,03 mg/L (vazante e enchente, respectivamente). Independente da época, o valor médio de N-org foi 0,58 mg/L. O ambiente que apresentou maior concentração média de N-org foi o rio São Domingues (1,16 mg/L) e o menor foi verificado no Igarapé Preto (0,40 mg/L).

- **Nitrato**

As concentrações de nitrato foram bastante baixas em todos os ambientes (rios) e épocas de coleta. No rio Ji-Paraná, a menor concentração de nitrato foi 0,1 e a maior 0,14 (média 0,11 mg/L; coeficiente de variação: 18%). O tributário do rio Ji-Paraná que apresentou menor concentração de nitrato foi o Igarapé do Inferno (<0,1 mg/L) e o maior foi o Igarapé Preto (0,3 mg/L), em março (cheia).

- **Nitrito**

Por se constituir em um composto intermediário da conversão biológica da amônia a nitrato, as concentrações de nitrito são sempre relativamente baixas; somente em condições específicas estes compostos apresentam concentrações elevadas (Wetzel, 1983). As concentrações de nitrito foram predominantemente baixas (abaixo do limite de detecção), a concentração esteve acima do limiar analítico, apenas na 3ª campanha, no rio Ji-Paraná.

- **Amônio**

O amônio foi o íon nitrogenado mais raro, apenas foi detectado uma vez, na 3ª campanha (setembro, seca), no rio Ji-Paraná.

- **Clorofila_a**

Os dados de amostragens de clorofila_a revelaram geralmente ausentes na grande maioria das amostragens realizadas. Tais concentrações baixas são normalmente esperadas em se tratando de ambientes lóticos e com relativamente pouca atividade antrópica no entorno.

- **Coliformes Termotolerantes**

Detectar a contaminação fecal é de primordial importância para garantir a segurança dos diversos usos múltiplos da água, desde a água para consumo humano até para recreação de contato primário. Os afluentes podem conter patógenos entéricos (i.e. organismos causadores de doenças dos intestinos de animais de sangue quente), tais como vírus, bactérias e protozoários. A água contaminada por fezes é uma das principais causas de doenças gastrointestinais (Ashbolt et al., 2001). As cinco espécies indicadoras mais utilizadas em análises bacteriológicas são: (i) coliformes totais (ii) coliformes fecais, (iii) *Escherichia coli* (iv) estreptococos fecais e (v)

enterococos fecais. Os coliformes fecais são indicadores confiáveis de contaminação fecal, caso os indicadores estejam presentes na água, seus aparecimentos indicam a existência de população potencial de patógenos entéricos, comprometendo os usos múltiplos. Assim, a determinação do número de coliformes assume importância como uma variável indicadora da possibilidade da existência de microrganismos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (Weiner, 2013). Com base nos valores de *Escherichia coli* e no Artigo 15º da Resolução CONAMA nº 357/05, para águas de Classe 2, não ocorreu registro de desconformidade.

Considerando os pontos de amostragens da qualidade da água selecionados para a modelagem matemática, nenhum deles apresentou concentração em desacordo com o valor preconizado pela Resolução CONAMA 357/05, de 1.000 NMP/100mL, conforme apresentado na Tabela 4.6.8.

Tabela 4.6.8 - Resultados Analíticos da *Escherichia coli*

Ponto de Amostragem	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)			
VMP	1000			
P1 sup	10	2	186	204
P2 sup	16	8	299	73
P3	205	37	98	210
P4	123	65	49	146
P5	17	15	156	37
P6 sup	34	< 2	391	DP
P24 sup	99	89	467	95
P25	19	4	176	213
P26	58	173	453	284
P27	149	255	248	480
P28	20	32	152	74
P29	109	231	166	105
P30	149	345	651	618

Fonte: Aquanálise Análises de Água e Consultoria e Bioagri Ambiental. DP: dado perdido.

VMP: Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA Nº 357/05, para águas de classe 2.

Nota: não houve nenhum registro de não conformidade com os valores estabelecidos no Artigo 15º da Resolução CONAMA nº 357/05, para águas de Classe 2

- **Índice de Estado Trófico (IET)**

O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) para os biótopos canal principal e tributário indicou que os ambientes são predominantemente mesotróficos para todos os pontos e todas as campanhas. O único ponto e única campanha em que o ponto P5 foi classificado como Supereutrófico, justificou-se pelo valor mais alto de fósforo total (1,4 mg/L), que pode estar relacionado com as características da área do entorno (região do PARNA), que embora seja um uma área de parque dos campos amazônicos, também contribui para o aporte de material alóctone ao sistema. Outras possíveis contribuições foram atribuídas à presença de fragmentos vegetais na água, envolvendo processos de mineralização e ciclagem de nutrientes no corpo hídrico.

- **Macrófitas**

O levantamento das macrófitas aquáticas registrou a presença de *Eichornia crassipes*, *Azolla caroliniana*, *Salvinia auriculata*, *Paspalum repens*, *Pontederia rotundifolia* e *Pistia stratiotes*, em

alguns trechos do Canal principal (P3, por exemplo), tributários e lagoas. Na fase de operação, pode-se esperar um aumento na biomassa de macrófitas decorrente do aumento da carga orgânica, de fósforo e de nitrogênio, advindos do material carregado da área de entorno do reservatório.

Apesar do diagnóstico não ter registrado espécies de macrófitas na margem esquerda do futuro reservatório é esperado um aumento da biomassa das macrófitas aquáticas nesses locais, devido ao tempo de residência da água que será maior do que o registrado atualmente no sistema. O crescimento excessivo de plantas reduz as trocas de oxigênio entre a atmosfera e a água e forma um ambiente propício para o crescimento de larvas de insetos e moluscos gastrópodes, protegidos da predação por peixes.

• Conclusão

De acordo com os resultados observados nas quatro campanhas não foram observados fontes de poluição na área estudada, ainda que cidade de Machadinho d'Oeste, localizada na AID não possua tratamento de esgoto sanitário nos domicílios particulares. Durante os trabalhos de campo não foram observados pontos de lançamento de esgotos *in natura* oriundos dos serviços de coleta de esgotos na área urbana, sendo o sistema comumente utilizado o sistema de fossa rudimentar.

Na Área Diretamente Afetada (ADA), ao longo do Rio Ji-Paraná existem pequenas comunidades ribeirinhas, dentre elas o maior povoado, a Vila Tabajara. A Vila está localizada na margem esquerda do rio, não possui malha viária com canalização de águas pluviais, rede de abastecimento de água, rede de esgoto ou recolhimento/tratamento de resíduos sólidos. No local proposto para barramento existe o povoado de Dois de Novembro, com cerca de 10 famílias residentes, uma escola e uma pousada. Descendo o Rio Ji-Paraná a partir de Dois de Novembro, sentido rio Madeira, existem as comunidades de Monte Sinai e Juruá e outras casas dispersas na beira do rio.

Além da cobertura vegetal nativa, que predomina em grande parte da ADA, ocorrem também usos antrópicos do solo, como a atividade da pecuária, que ocorrem ou não com vegetação associada. As áreas de pastagens ocorrem de maneira pontual na margem direita do rio Ji-Paraná. Outro uso do solo associado à ocupação é a agricultura, configuram áreas de pequenas dimensões e se concentram junto às edificações residenciais de ribeirinhos ou em pequenas propriedades. De modo geral, destinam-se a subsistência ou à produção familiar de farinha de mandioca, predominantemente.

A análise das variáveis limnológicas selecionadas (temperatura, oxigênio dissolvido, DBO, fósforo total, fósforo dissolvido, nitrogênio orgânico, nitrato e amônio) permite caracterizar esses ambientes como rios tropicais, com baixas variações de temperatura. Esses rios apresentam frequentemente baixas concentrações de OD, DBO, amônio, nitrito e nitrato. As concentrações de N-org são semelhantes à de outros rios. As concentrações de fósforo total e ortofosfato foram relativamente elevadas, classificando frequentemente esses ambientes como rios mesoeutróficos e eutróficos. Não houve registro de desconformidade nas ocorrências de *E. coli*. As propriedades limnológicas adotadas nas simulações são, portanto, compatíveis com as características atuais dos rios selecionados, assim como com os atributos do uso da terra da região (e.g., poucas

fontes de poluição das bacias contribuinte). Considerando o IQA (Índice de Qualidade das Águas) que emprega as variáveis utilizadas pelo modelo (i.e., nitrogênio total, fósforo total, DBO, temperatura, oxigênio dissolvido, coliformes), o rio Ji-Paraná e afluentes normalmente comportam águas classificadas como “Boa” a “Ótima”. Dentre as variáveis utilizadas como dado de entrada do modelo, ressaltam-se as ocorrências frequentes de concentrações relativamente baixas de oxigênio dissolvido.

Dados dos Constituintes Limnológicos Adotados na Modelagem Matemática

Compreende os dados dos constituintes limnológicos aportados ao corpo do reservatório através do rio Ji-Paraná, e afluentes lateralmente nos contribuintes que integram a área da bacia intermediária do reservatório, conforme esquema topológico apresentado na Figura 4.2.1.

Na formalização dos dados de entrada da modelagem matemática, adotou-se a seguinte sistemática:

- Para a calha central do reservatório considerou-se o valor médio do histórico das amostragens realizadas no curso do rio Ji-Paraná no trecho abrangido pelo estirão do reservatório, respectivamente nos Pontos P02 a P06.
- Para as aflências laterais, considerou-se o valor médio do histórico de amostragem desenvolvido em cada tributário.

Em particular para o oxigênio dissolvido, adotaram-se valores modulados mês a mês tendo como referência os dados amostrados nos trabalhos de coleta, haja vista que este parâmetro apresentou alterações sazonais importantes. Na Tabela 4.6.7 são apresentados os valores modulados mensais da concentração do oxigênio dissolvido adotadas na modelagem matemática.

Para os demais parâmetros, foram adotadas as médias das concentrações obtidas das quatro amostragens.

Tabela 4.6.7 – Valores Mensais da Concentração do Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Afluência	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Corpo Central	5,55	5,36	5,18	5,41	5,65	5,88	6,12	6,38	6,65	6,28	5,92	5,74
Igarapé dos Marmelos	4,80	4,28	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,02	2,28	4,07	5,85	5,33
Igarapé Preto	6,56	6,19	5,82	5,83	5,85	5,86	5,88	6,01	6,14	6,72	7,31	6,93
Igarapé São Domingos	4,7	3,3	1,9	2,5	3,1	3,6	4,2	5,3	6,4	6,9	7,5	6,1
Rio Machadinho	5,68	5,23	4,78	4,79	4,80	4,81	4,81	4,51	4,21	5,39	6,58	6,13
Igarapé do Inferno	6,21	6,34	6,46	6,60	6,74	6,87	7,01	6,51	6,00	5,98	5,96	6,09

Dados dos Constituintes Limnológicos Adotados na Modelagem Matemática

Compreende os dados dos constituintes limnológicos aportados ao corpo do reservatório através do rio Ji-Paraná, e afluentes lateralmente nos contribuintes que integram a área da bacia intermediária do reservatório, conforme esquema topológico apresentado na Figura 4.2.1.

Na formalização dos dados de entrada da modelagem matemática, adotou-se a seguinte sistemática:

- Para a calha central do reservatório considerou-se o valor médio do histórico das amostragens realizadas no curso do rio Ji-Paraná no trecho abrangido pelo estirão do reservatório, respectivamente nos Pontos P02 a P06.
- Para as afluições laterais, considerou-se o valor médio do histórico de amostragem desenvolvido em cada tributário.

Em particular para o oxigênio dissolvido, adotaram-se valores modulados mês a mês tendo como referência os dados amostrados nos trabalhos de coleta, haja vista que este parâmetro apresentou alterações sazonais importantes. Na Tabela 4.6.7 são apresentados os valores modulados mensais da concentração do oxigênio dissolvido adotadas na modelagem matemática.

Para os demais parâmetros, foram adotadas as médias das concentrações obtidas das quatro amostragens.

Tabela 4.6.7 – Valores Mensais da Concentração do Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Afluição	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Corpo Central	5,55	5,36	5,18	5,41	5,65	5,88	6,12	6,38	6,65	6,28	5,92	5,74
Igarapé dos Marmelos	4,80	4,28	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,02	2,28	4,07	5,85	5,33
Igarapé Preto	6,56	6,19	5,82	5,83	5,85	5,86	5,88	6,01	6,14	6,72	7,31	6,93
Igarapé São Domingos	4,7	3,3	1,9	2,5	3,1	3,6	4,2	5,3	6,4	6,9	7,5	6,1
Rio Machadinho	5,68	5,23	4,78	4,79	4,80	4,81	4,81	4,51	4,21	5,39	6,58	6,13
Igarapé do Inferno	6,21	6,34	6,46	6,60	6,74	6,87	7,01	6,51	6,00	5,98	5,96	6,09

4.7 Estimativas de Fitomassa

A estimativa da fitomassa baseou-se nos estudos qualitativos e quantitativos da flora, de acordo com a metodologia apresentada no Plano de Trabalho da Vegetação para o EIA/RIMA do AHE Tabajara, no qual foram seguidos os preceitos contidos no respectivo Termo de Referência, ajustado após discussões com a equipe técnica da COHID/IBAMA.

Os estudos contemplaram as várias formações vegetais e ambientes existentes dentro e fora das áreas a serem diretamente afetadas com o empreendimento, a fim de subsidiar a caracterização da cobertura vegetal, além da análise integrada com os outros componentes ambientais, e a avaliação dos impactos que potencialmente poderão ocorrer com a implantação e operação do mesmo em nível local e regional.

A caracterização da cobertura vegetal da Área de Influência Indireta (AII) do empreendimento foi elaborada principalmente com base em dados secundários atuais presentes na literatura e

publicações oficiais, além das informações coletadas nas vistorias de campo e análise de imagens de satélite.

A caracterização mais detalhada da vegetação existente na Área de Influência Direta (AID) e na Área Diretamente Afetada (ADA) do empreendimento baseou-se nos resultados dos levantamentos de dados primários, constituídos principalmente pelo mapeamento e descrição das fitofisionomias e uso do solo, levantamento fitossociológico e levantamento florístico das formações vegetais existentes, complementados com dados secundários.

Deste modo, a realização do diagnóstico da vegetação nas áreas de influência do empreendimento teve como referência o método "Avaliação Ecológica Rápida" (AER), elaborado por Sobrevilla & Bath (1992) para o Programa de Ciências para a América Latina da organização não governamental The Nature Conservancy, cuja versão revista em português foi publicada por Sayre et al. (2003).

A estimativa do carbono oxidável foi baseada nos quantitativos das áreas ocupadas pelas diversas fisionomias vegetais conforme dados apresentados nas Tabelas 4.7.1 a 4.7.8, onde são assinaladas as legendas consideradas no mapa de vegetação e uso do solo, a descrição das diversas fisionomias e a respectiva área ocupada.

Na Figura 4.7.1 é apresentado o mapa de vegetação e uso do solo, onde podem ser identificados os polígonos referentes as diversas legendas.

Tabela 4.7.1 - Quantitativo da Fisionomia Vegetal Integrada dos Compartimentos 01, 02 e 04

Legenda	Descrição	Área m²
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial SP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial	21.932.112,89
Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas SP	Associação Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	1.237.010,92
Ac	Agricultura	4.882,48
Af	Afloramento Rochoso Fluvial - Pedrais	158.966,63
Ap	Pecuária	716.865,48
Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana SP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana	8.625,93
Ba	Banco de Areia	132.206,42
Bm	Bosque Misto - Pomares	16.961,38
Ca	Corpo d'Água	21.698.811,85
Ld OP	Campinarana Florestada	371.255,64
Lg OA	Campinarana Gramíneo - Lenhosa	16.214,56
LO OA	Contato Campinarana - Floresta Ombrófila	2.235,93
Pab	Formação Pioneira com Influência fluvial e/ou Lacustre Buritizal	412,10
Paha	Formação Pioneira com Influência fluvial e/ou Lacustre Herbácea ou Arbustiva	222.738,09
Se	Solo Exposto	15.519,01
Vp	Vegetação Paludal	992,41
Total do setor		46.535.811,71

Tabela 4.7.2 - Quantitativo da Fisionomia Vegetal do Compartimento 03

Legenda	Descrição	Área m ²
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial OP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial	166.131,43
Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas SI	Associação Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	230.925,05
Ap	Pecuária	145,46
Ca	Corpo d'Água	81.497,86
SOa OP	Contato Savana - Floresta Ombrófila - Arborizada	22.072,13
SOB OP	Contato Savana - Floresta Ombrófila - Arbustiva	201.282,10
Total do setor		702.054,03

Tabela 4.7.3 - Quantitativo da Fisionomia Vegetal do Compartimento 05

Legenda	Descrição	Área m ²
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial OP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial	39.179,80
Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas OP	Associação Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	1.263.898,44
Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana OP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana	147,46
Sg OP	Savana Gramíneo-Lenhosa	5.662,33
SOa OP	Contato Savana - Floresta Ombrófila - Arborizada	152.356,67
Total do setor		1.461.244,69

Tabela 4.7.4 - Quantitativo da Fisionomia Vegetal do Compartimento 06

Legenda	Descrição	Área m ²
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial OP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial	1.605.473,73
Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas OA	Associação Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	2.516.636,00
Ba	Banco de Areia	889,06
Ca	Corpo d'Água	45.473,85
LO OP	Contato Campinarana - Floresta Ombrófila	34.714,68
SOD OP	Contato Savana - Floresta Ombrófila - Florestada	23.231,92
Total do setor		4.226.419,24

Tabela 4.7.5 - Quantitativo da Fisionomia Vegetal do Compartimento 07

Legenda	Descrição	Área m ²
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial SP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial	2.737.811,48

Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas SP	Associação Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	516.971,58
Ac	Agricultura	428,52
Ap	Pecuária	285.259,94
Ca	Corpo d'Água	2.252,38
LO OA	Contato Campinarana - Floresta Ombrófila	46.499,17
Se	Solo Exposto	5.795,40
Total do setor		3.595.018,46

Tabela 4.7.6 - Quantitativo da Fisionomia Vegetal Integrada dos Compartimento 08 e 10

Legenda	Descrição	Área m²
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial SM	Associação Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial	9.108.373,70
Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas SP	Associação Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	21.947.074,47
Ac	Agricultura	67.398,46
Af	Afloramento Rochoso Fluvial - Pedrais	324.212,30
Ap	Pecuária	1.517.358,36
Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana OP	Associação Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana	59.761,70
At	Afloramento Rochoso Terrestre	9.726,55
Ba	Banco de Areia	152.121,13
Bm	Bosque Misto - Pomares	11.764,00
Ca	Corpo d'Água	4.995.085,46
La OA	Campinarana Arborizada	1.010,61
Ld OA	Campinarana Florestada	7.010,93
LO OA	Contato Campinarana - Floresta Ombrófila	300.400,38
Paha	Formação Pioneira com Influência fluvial e/ou Lacustre Herbácea ou Arbustiva	87.574,76
Se	Solo Exposto	78.262,58
Total do setor		38.667.135,38

Tabela 4.7.7 - Quantitativo da Fisionomia Vegetal do Compartimento 09

Legenda	Descrição	Área m²
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial OA	Associação Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Floresta Ombrófila Densa Aluvial	1.888.835,35
Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana OA	Associação Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Floresta Ombrófila Densa Submontana	40.115,65
Total do setor		1.928.951,00

Figura 4.7.1 - Mapa de Vegetação e Uso do Solo

Na estimativa da densidade de carbono biodegradável consideraram-se as tipologias vegetais presentes em cada compartimento que compõem o corpo do reservatório, conforme parcelas abrangidas pelos diversos usos e ocupação do solo.

Com base nas tipologias vegetais e usos do solo, foram definidos os dados de carbono lábil para cada compartimento do reservatório, conforme teores de carbono oxidável da fitomassa representadas pelos constituintes das parcelas vegetais (folhas, galhos, cascas e serapilheira) e matéria orgânica do solo associadas a cada compartimento em que o reservatório do AHE Tabajara é modelado, cujos teores são apresentados na Tabela 4.7.8.

Os cálculos dos teores de carbono oxidável por fisionomia vegetal obedeceram a seguinte sistemática:

- ✓ Avaliação dos percentuais de folhas, galhos finos, cascas e serapilheira de cada tipologia vegetal. Admitiu-se que os galhos finos correspondem a 35% da biomassa dos galhos;
- ✓ As biomassas relativas aos fustes, galhos grossos (65% da massa dos galhos) e raízes não foram consideradas no cálculo da densidade do carbono biodegradável. O tempo de degradação destes tipos de biomassa é muito elevado;
- ✓ Para a transformação da biomassa de cada recurso em base de carbono biodegradável, utilizou de dados acadêmicos baseados em experimentos realizados em laboratório, onde se obteve a seguinte composição elementar dos recursos:
 - Folhas: 41,4%;
 - Galhos: 44,3%;
 - Cascas: 51,3%;
 - Serapilheira: 39,4%.

Os teores de carbono dos recursos orgânicos, i.e. folhas = 41,4%; galhos = 44,3%; cascas = 51,3% e serapilheira = 39,4% (Bianchini Jr. & Cunha-Santino, 2011) foram determinados com analisador elementar (Carlo Erba, modelo EA 1108). Os teores de carbono facilmente oxidável (i.e. lábil; folhas: 23,4%; galhos: 12,2%; cascas: 8,2%; serapilheira: 11,4%); foram calculados considerando os consumos de oxigênio de 5 experimentos de degradação aeróbia da fitomassa, realizados em laboratório (CNEC/ELN, 1987; MDK/CENCO/COPEL, 1988; Antonio et al., 1999; Bianchini Jr. & Cunha-Santino, 2011; Cunha-Santino et al., 2013). Por sua vez, os teores de carbono orgânico refratário foram calculados pelas diferenças entre os teores de carbono orgânico total e os de carbono orgânico lábil.

Tabela 4.7.8 – Teores de Carbono Biodegradável de cada Compartimento do Reservatório

Segmento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total C-Oxidável da Fitomassa (kg/m ²)	0,190	0,190	0,296	0,190	0,358	0,358	0,329	0,330	0,344	0,330
Total C-Oxidável do Solo (kg/m ²)	0,020	0,020	0,033	0,020	0,037	0,037	0,037	0,035	0,038	0,035
Total C-Oxidável AHE Tabajara (kg/m ²)	0,210	0,210	0,329	0,210	0,395	0,395	0,366	0,366	0,382	0,366

4.8 Constantes das Equações Cinéticas

As constantes das equações cinéticas relativas aos ciclos dos nutrientes e do oxigênio dissolvido adotado na modelagem são apresentadas na Tabela 4.8.1.

Tabela 4.8.1 - Constantes das Equações Cinéticas

Constante	Descrição	Valor	Unidade
K1320C	Nitrification rate at 20° C	0,10	1/day
K1320T	Temperature coefficient for k1320C	1,085	-
KNIT	half-saturation constant for nitrification-oxygen limitation	2,0	mg O2/L
K140C	Denitrification rate at 20° C	0,09	1/day
K140T	Temperature coefficient for K140C	1,045	-
KNO3	half-saturation const. for denitrification- oxygen limitation	2,0	mg O2/L
KIC	Saturated growth rate of phytoplankton at 20° C	0,2	1/day
KIT	Temperature coefficient for KIC	1,068	-
XKC	Cholorophyll extinction coefficient	0,017	m ² /mg chla
PHIMX	Maximum phosphorous quantum yield	720	mg C/mole
KMNGI	Nitrogen half-saturation const. for phytoplankton growth	0,025	mg N/L
KMPGI	Phosphorous half-saturation const. for phyto. growth	0,001	mg PO4/L
NCRB	Nitrogen-to-carbon ratio in phytoplankton	0,250	mg N/mg C
PCRB	phosphorus-to-carbon ratio in phytoplankton	0,025	mgPO4/mgC
KIRC	endogenous respiration rate of phytoplankton at 20° C	0,125	1/day
KIRT	temperature coefficient for KIRC	1,045	-
KID	non-predatory phytoplankton death rate	0,020	1/day
KPZDC	decomposition rate for phyto. in the sediment at 20° C	0,020	1/day
KPZDT	temperature coefficient for KPZDDC	1,08	-
KDC	BOD deoxygenation rate at 20° C	0,10	1/day
KDT	temperature coefficient	1,047	-
KDSC	decomposition rate for CBOD. in the sediment at 20° C	0,011	1/day
KDST	temperature coefficient	1,047	-
KBOD	half-satur. const. for carbon. Deoxygenation oxygen limit.	0,00	mg O2/L
OCRB	oxygen-to-carbon ratio in phytoplankton	2,67	mgO2/mg C
K2	reaeration rate at 20° C for entire water body	0,00	1/day
K1013C	mineralization rate of dissolved organic nitrogen at 20°C	0,020	1/day
K1013T	temperature coefficient for K1013C	1,02	-
KONDC	decomposition rate for organic nitrogen in the sediment	0,0004	1/day
KONDT	temperature coefficient	1,08	-
K58C	mineralization. rate of dissolved organic phosphorus at 20°C	0,22	1/day
K58T	temperature coefficient for K58C	1,08	-
KOPDC	decomposition. rate for organic phosphorus in the sediment	0,0004	1/day
KOPDT	temperature coefficient	1,08	-

Fonte: Bowie et al. (1985)

4.9 Taxas de Biodegradação da Fitomassa Inundada

As constantes das equações cinéticas relativas ao processo de biodegradação da fitomassa afogada do Reservatório do AHE Tabajara são apresentadas na Tabela 4.9.1. Esses parâmetros foram obtidos de experimentos de degradação (recursos vegetais: folhas, galhos com diâmetro $\approx 1,0$ cm, cascas e serapilheira) realizados em laboratório, sob condições controladas (meio aeróbio e meio anaeróbio); Bianchini Jr. & Cunha-Santino (2011); Bianchini Jr. et al. (2011); Cunha-Santino et al. (2013); Bianchini Jr. et al. (2014); Cunha-Santino et al. (2016); Passeirini et al. (2016).

Tabela 4.9.1 - Taxas de Biodegradação da Fitomassa Inundada

Taxa	Descrição	Valor	Unidade
K1	Taxa de oxidação material particulado - cond. aeróbica	0,255	1/dia
K1	Taxa de oxidação material particulado - cond. anaeróbica	0,465	1/dia
K2	Taxa de solubilização - condição aeróbica	0,745	1/dia
K2	Taxa de solubilização - condição anaeróbica	0,348	1/dia
K3	Taxa de oxidação material dissolvido- cond. aeróbica	0,015	1/dia
K3	Taxa de oxidação material dissolvido- cond. anaeróbica	0,003	1/dia
-	Razão nitrogênio- carbono	0,0287	mg N/mg C
-	Razão fósforo- carbono	0,0016	mg P/mg C

Referências: Bianchini Jr. & Cunha-Santino (2011); Bianchini Jr. et al. (2011); Cunha-Santino et al. (2013); Bianchini Jr. et al. (2014); Cunha-Santino et al. (2016); Passeirini et al. (2016).

5. RESULTADOS DA MODELAGEM MATEMÁTICA

5.1 Calibragem do Modelo Matemático

A fase exploratória do modelo matemático é precedida por uma fase preliminar de calibragem do módulo hidráulico, onde através de um processo de tentativas sucessivas, procura-se o melhor ajuste entre os níveis d'água observados e simulados.

Neste processo são retratadas as fases de enchimento e operação normal do reservatório, utilizando-se os dados dos estudos do remanso, onde as linhas d'água são avaliadas para diversas condições hidrológicas de vazões afluentes.

Dentre as condições analisadas dos estudos de remanso, destacam-se os resultados obtidos das linhas d'água associadas as vazões médias das mínimas, médias das médias e médias das máximas para as condições de rio natural e com a presença do reservatório obtidas dos estudos EIA_RIMA do AHE Tabajara, conforme apresentado na Tabela 5.1.1 e perfis das linhas d'água retratadas nas Figuras 5.1.1 a 5.1.3.

Tabela 5.1.1 – Perfis das Linhas d'água do Estudo de Remanso

Seção	Distância (m)	Condição Natural (m)			Com Reservatório (m)		
		QMedMin (m ³ /s)	QMLT (m ³ /s)	QMedMax (m ³ /s)	QMedMin (m ³ /s)	QMLT (m ³ /s)	QMedMax (m ³ /s)
		217	1.553	4.344	217	1.553	4.344
S-08	0	55,93	60,15	62,64	80,00	80,00	80,00
12	1350	56,03	60,35	63,22	80,00	80,00	80,00
S-09	2497	56,26	60,70	63,94	80,00	80,00	80,01
S-10	5552	56,27	60,79	64,31	80,00	80,00	80,01
S-10,5	5853	58,96	61,58	65,16	80,00	80,00	79,99
S-11	6608	59,52	63,31	67,17	80,00	80,00	80,02
S-12	10188	59,56	63,42	67,46	80,00	80,00	80,03
S-14	14181	69,98	70,54	71,14	80,00	80,00	80,03
S-15	15034	70,13	71,15	72,53	80,00	80,00	80,03
26	15228	70,64	72,62	74,69	80,00	79,99	79,95
26.	15908	71,31	74,58	77,51	80,00	79,99	79,96
S-16	16188	71,34	74,93	78,43	80,00	80,05	80,40
S-16.5	16248	71,35	74,48	78,02	80,00	80,03	80,26
28	17874	72,12	75,85	79,56	80,00	80,12	80,91
S-17	22204	72,16	76,08	79,96	80,00	80,17	81,18
S-18	34030	73,62	78,12	82,03	80,01	80,51	82,60
S-19	42753	75,17	78,80	82,42	80,02	80,67	82,88
S-20	51862	75,57	79,32	82,70	80,02	80,81	83,08
S-21	55258	75,76	79,53	82,88	80,02	80,90	83,23
S-22	64898	76,88	80,36	83,41	80,04	81,25	83,64
S-23	74048	77,48	81,43	84,38	80,08	81,90	84,48
S-24	83561	77,79	82,00	84,92	80,12	82,32	85,01

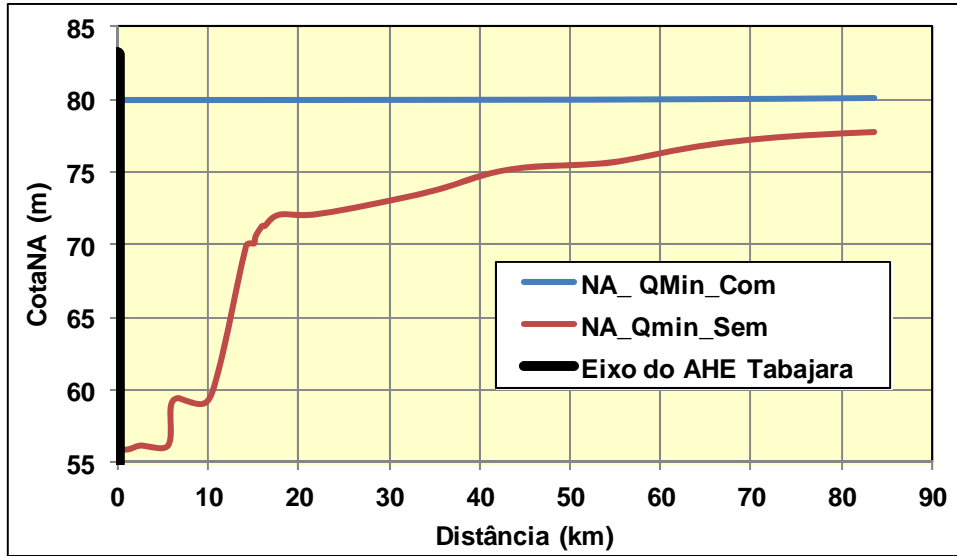


Figura 5.1.1 – Linhas d'água do Remanso – Vazão Média das Mínimas

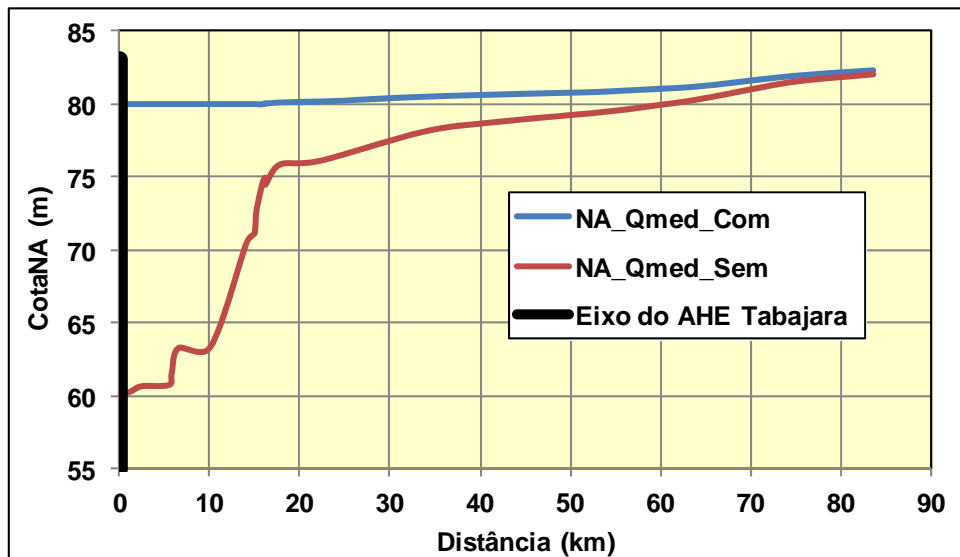


Figura 5.1.2 – Linhas d'água do Remanso – Vazão Média das Médias

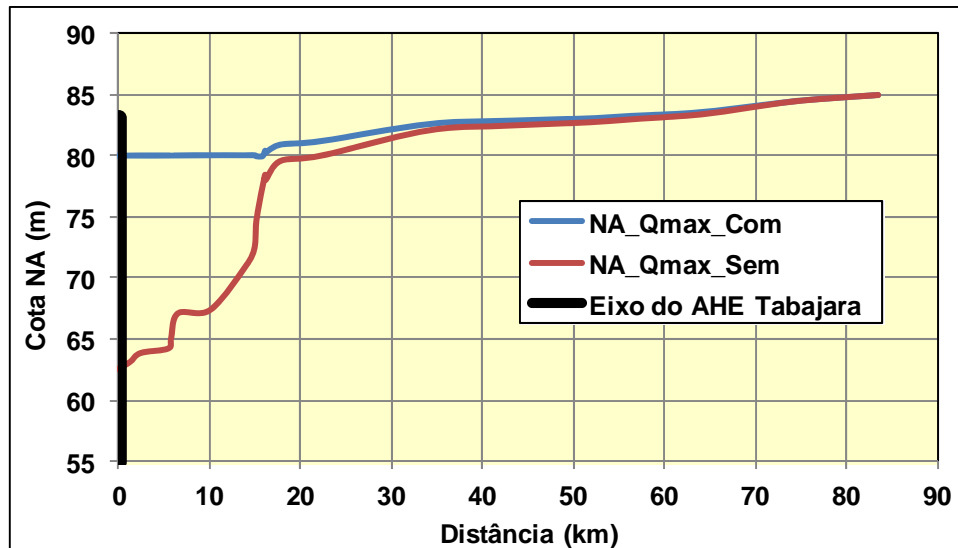


Figura 5.1.3 – Linhas d'água do Remanso – Vazão Média das Máximas

Estas condições são aplicadas a calha central do reservatório, respectivamente aos segmentos 01, 02, 04, 08 e 10 conforme apresentado na Figura 4.2.1, onde a circulação da água veicula de forma preferencial.

O conjunto de segmentos 01, 02 e 04, totalizando uma extensão aproximada de 71.500 m, abrange o compartimento do reservatório situado a montante onde os perfis das linhas d'água apresentam baixas declividades, configurando um escoamento do tipo fluvial. O segmento 01 representa a extensão do reservatório, onde o rio Ji-Paraná apresenta uma configuração encaixada. Os segmentos seguintes 02 e 04, já incorporam as áreas laterais de inundação, onde o escoamento se processa de forma mais lenta.

Os segmentos 08 e 10 com uma extensão total de 18.000 m representam à partição mais a jusante do reservatório, onde em função da acentuada declividade do álveo, o escoamento, em condição de rio natural, veicula em regime turbulento. Em função da conformação confinada destes dois segmentos, em particular do segmento 10, as elevações dos níveis d'água durante a fase de enchimento se processará de forma mais acentuada o que vem refletir em respostas mais rápidas no que se refere ao processo de incorporação da fitomassa residente.

Nas Figuras 5.1.4 e 5.1.5 são apresentados os resultados da calibragem do modelo matemático, obtidos através de um processo iterativo, onde se procura um ajuste entre os valores dos níveis d'água obtidos pelos estudos de remanso e aqueles considerados pelo modelo hidráulico do modelo de qualidade da água.

Neste processo de calibragem consideraram-se as condições hidrodinâmicas associadas às médias das vazões médias ($1.553 \text{ m}^3/\text{s}$) para as condições de rio natural e rio desenvolvido com a presença do reservatório do AHE Tabajara.

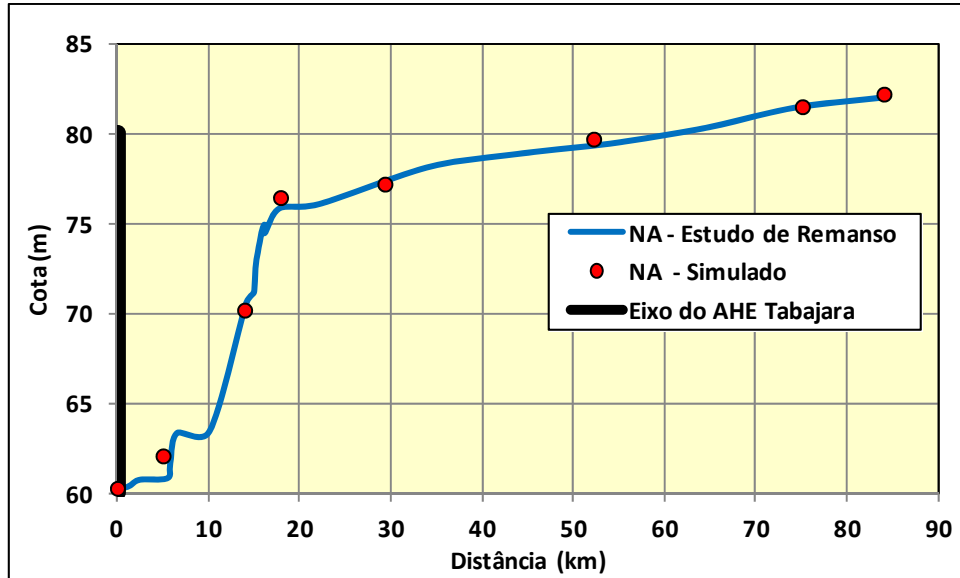


Figura 5.1.4 – Calibragem Associada à Média das Vazões Médias – Rio Natural

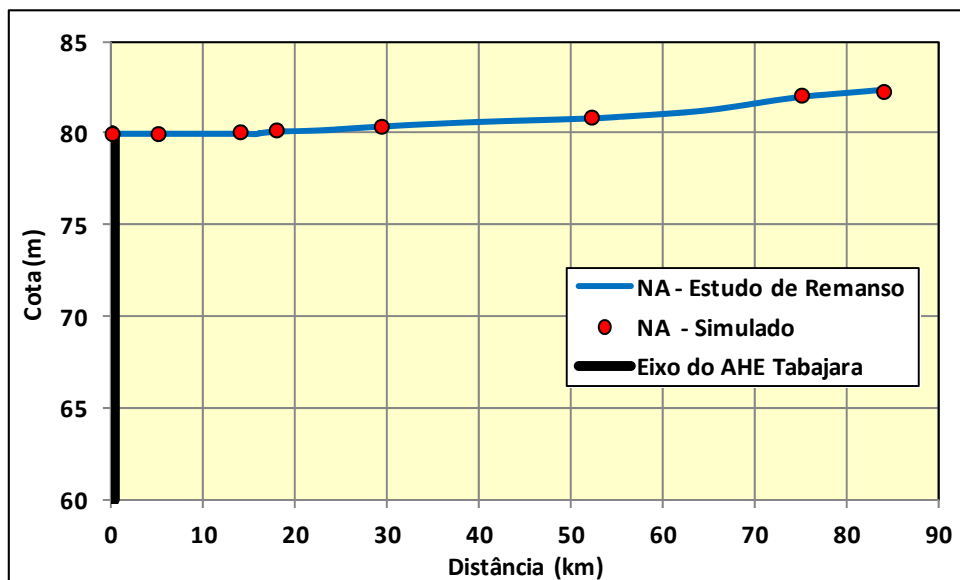


Figura 5.1.5 – Calibragem Associada à Média das Vazões Médias – Rio Desenvolvido

5.2 Tempo de Residência

O tempo de residência da água é uma das variáveis importantes que influenciam 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 do AHE Tabajara o tempo médio de retenção hidráulica será da ordem de 3,9 dias, sendo classificado como ecossistema com comportamento similares aos de rios. Em geral, os processos de exportação de nutrientes e de renovação da massa d'água serão mais favorecidos no período compreendido entre os meses de janeiro a abril, que apresentam tempos de residência médio da ordem de 2 dias.

Ao analisar os compartimentos do reservatório verifica-se uma diferenciação de comportamento hidrodinâmico, ao analisar as partições do corpo central onde o escoamento ocorre de forma preferencial e dos braços tributários onde a circulação da água veicula de forma mais lenta favorecendo a ocorrência de processo de eutrofização.

Com base no esquema topológico apresentado na Figura 4.2.1 é apresentada uma análise visando à indicação dos compartimentos potencialmente mais críticos, mensurados através da magnitude do tempo de residência, conforme apresentado na Tabela 5.2.1.

Nesta análise, são considerados os compartimentos dos braços laterais respectivamente os segmentos 3; 5; 6; 7 e 9 e os compartimentos que integram o corpo central do reservatório, respectivamente segmentos 1; 2; 4 e 8 e 10. Em função das pequenas dimensões das bacias contribuintes laterais ao reservatório, os tempos de residência dos segmentos que compõem os braços se revelam, com tempos médios anuais variando entre 5,4 dias no segmento 03 a 318 dias no segmento 5.

As condições mais severas de circulação da água deverão ser observadas no período mais seco do ano, entre os meses de agosto e outubro, com durações que chegarão a ultrapassar 400 dias, como observados nos segmento 05 e 07.

Condição diferenciada é observada no compartimento do corpo central do reservatório, onde a circulação da água ocorrerá de forma preferencial com tempo médio de residência de 3,6 dias e condições mais favoráveis verificadas nos meses de fevereiro e março com tempo de retenção da água de 1,6 dias.

A grande variação temporal verificada nos valores do tempo de residência decorre da ampla sazonalidade observada no regime de vazões naturais, onde as médias observadas no mês mais úmido (março com 3.673 m³/s) supera 11 vezes a observada no mês mais seco (setembro com 327 m³/s), conforme valores de vazões médias mensais assinaladas na Tabela 2.2.1.

Tabela 5.2.1 – Tempos de Residência da Água (dias)

Mês	Seg-03	Seg-05	Seg-06	Seg-07	Seg-09	Corpo Central	Total
Jan	3,24	191,34	24,37	67,93	28,22	2,14	2,36
Fev	2,64	156,01	19,87	55,39	23,01	1,75	1,93
Mar	2,27	134,09	17,08	47,61	19,77	1,50	1,65
Abr	3,07	180,87	23,04	64,21	26,67	2,03	2,23
Mai	5,27	311,13	39,62	110,46	45,88	3,48	3,84
Jun	9,08	535,93	68,25	190,27	79,03	6,00	6,61
Jul	14,37	847,70	107,96	300,96	125,01	9,49	10,46
Ago	21,68	1279,26	162,92	454,17	188,65	14,32	15,79
Set	25,53	1506,17	191,82	534,73	222,11	16,86	18,59
Out	19,83	1169,87	148,99	415,34	172,52	13,10	14,44
Nov	11,23	662,87	84,42	235,34	97,75	7,42	8,18
Dez	5,62	331,44	42,21	117,67	48,88	3,71	4,09
Média	5,39	318,23	40,53	112,98	46,93	3,56	3,93

5.3 Apresentação dos Casos Simulados

As simulações analisam quatro cenários de enchimento do reservatório, com fechamento realizado nas janelas hidrológicas dos períodos de enchente, cheia, vazante e seca.

Na Tabela 5.3.1 é apresentado o esquema de enchimento do reservatório considerado em cada cenário, onde é indicada para cada cenário, a data de início e tempo do enchimento para completar o nível d'água máximo normal de operação de 80,0 metros.

Na operação de enchimento do reservatório, manteve-se sempre a liberação de uma vazão superior ou igual a mínima sanitária definida em 248 m³/s e que corresponde a vazão média diária permanente em 95% do tempo, conforme consta do Relatório de Avaliação de Uso dos Recursos Hídricos – RAURH emitido em novembro de 2016.

Nestas condições, para os cenários 01, 02 e 03 foram adotados um tempo de enchimento de 30 dias. Para o cenário 04 com início de enchimento no dia 1º de setembro, em função das baixas vazões afluentes, o tempo para completar o nível d'água máximo normal de operação foi estendido para 60 dias, a fim de possibilitar a liberação para jusante, da vazão mínima de 248 m³/s.

A base de dados de vazões utilizadas na modelagem matemática considera a ocorrência de uma condição hidrológica média e vazão modulada a nível diário acompanhando o comportamento sazonal anual baseado na série obtida mais recente no local do eixo do AHE Tabajara.

Tabela 5.3.1 – Esquema de Enchimento do Reservatório do AHE Tabajara

Cenário	Janela Hidrológica	Data de Início do Enchimento	Tempo de Enchimento (Dias)	Vazão Média (m ³ /s)
01	Enchente	1º de Dezembro	30	1.486
02	Cheia	1º de Março	30	3.673
03	Vazante	1º de Junho	30	919
04	Seca	1º de Setembro	60	327

Os resultados da modelagem matemática são apresentados através de saídas gráficas, onde é analisado o comportamento temporal e espacial dos parâmetros de qualidade da água.

Para cada cenário são apresentados os resultados da modelagem matemática segundo duas situações de desmatamento e limpeza do reservatório:

- Condição sem desmatamento e limpeza do reservatório, onde são aferidas as concentrações do oxigênio dissolvido; e
- Condição com o desenvolvimento das ações preventivas de desmatamento e limpeza do reservatório, procurando limitar as quedas nas concentrações de oxigênio dissolvido a níveis não inferiores a 4 mg/L.
- Nessa condição são apresentadas as saídas gráficas relativas ao Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica do Oxigênio, Nitrato, Amônia e Fósforo. Essas variáveis foram especialmente selecionadas, pois estão diretamente relacionadas com os eventuais impactos de curto prazo, gerados devido à degradação da fitomassa submersa (i.e., anoxia, anaerobiose). Essas variáveis consideram, ainda, a descrição da fase transiente do reservatório até atingir a estabilização. As formas nitrogenadas e o fósforo total são usualmente utilizados para a classificação do grau de trofia dos ambientes aquáticos. Convém ressaltar que a chamada “estabilização do reservatório” depende da variável selecionada e a seleção dessas variáveis permite avaliar esse evento levando em consideração diferentes elementos e, conseqüentemente, diferentes processos.

Quanto às demais variáveis: Ortofosfato, Nitrito e Clorofila_a, as amostragens realizadas nos inventários limnológicos revelaram a predominância de concentrações muito reduzidas e/ou abaixo do limite de detecção, não se justificando a elaboração de saídas gráficas dos resultados da simulação. O fósforo total e as demais formas nitrogenadas são suficientes para descrever o grau de trofia (o ortofosfato e N-NO₂ são formas que normalmente pouco contribuem para a avaliação do grau de trofia, devido as suas concentrações serem usualmente muito baixas).

A simulação dos coliformes termotolerantes só é possível após a estabilização hidrobioquímica do reservatório do AHE Tabajara, haja vista que no período de enchimento não se dispõem de dados relativos à contribuição deste constituinte nos terrenos que integram a área do futuro reservatório. Em adição, os valores bastante reduzidos de *E. coli* verificados nos tributários do reservatório também não justifica a elaboração de saídas gráficas dos resultados.

Dentre os parâmetros considerados nos processos bioquímicos e cinéticos de qualidade da água, o oxigênio dissolvido constitui um dos mais importantes, sendo determinante para a manutenção da ictiofauna.

Além da importância do oxigênio para o subsídio à sobrevivência dos peixes e demais organismos aeróbios, a presença deste elemento também condiciona a disponibilidade de nutrientes, interferindo, deste modo, na evolução da eutrofização. A presença de oxigênio mantém o sistema aquático em condição oxidante. Nesta situação, normalmente, ocorre a oxidação e/ou hidratação (química ou biológica) de cátions metálicos (e.g. Fe, Al) e outros íons (e.g. Mn, Ca) que se ligam a espécies fosfatadas (por adsorção) e precipitam. Ainda nesta condição (oxidante) as formas fosfatadas podem reagir com argilas (e.g. gipsita, hematita) e, de forma similar, precipitarem (Wetzel, 1983).

A manutenção das condições oxidantes conserva os precipitados (ricos em fósforo e outros nutrientes) imobilizados nas camadas superficiais dos sedimentos que, por sua vez, ainda formam uma camada que contribui para barrar a difusão de elementos nutrientes desde os sedimentos. Na ocorrência de rebaixamento do potencial de oxi-redução (pelo evento de anaerobiose ou anoxia), estes compostos precipitados dissolvem-se e juntamente com os demais elementos reduzidos do interior dos sedimentos, se difundem para a coluna d'água, contribuindo para a eutrofização do ambiente aquático. Este processo de eutrofização induzido pela ausência de oxigênio é usualmente denominado: "autofertilização" (Esteves, 1988). Pelo exposto, fica evidente a importância da proposição de excluir e/ou minimizar a anaerobiose e a anoxia como mecanismo de controle e atenuação da eutrofização dos braços do reservatório.

Ressalta-se que os resultados da modelagem matemática referem-se a uma condição hidrológica média, podendo eventualmente ocorrer situações mais desfavoráveis em função da ocorrência de menores vazões e/ou afluência de águas dotadas de menores concentrações de oxigênio dissolvido durante as fases de enchimento e estabilização do reservatório.

5.3.1 Apresentação do Cenário 01 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Dezembro

- **Sem Desmatamento do Reservatório**

Neste cenário foi analisado o comportamento da qualidade da água, considerando-se a inundação da biomassa natural residente na área do lago formado e cujos resultados são utilizados como referência para o cenário com desmatamento.

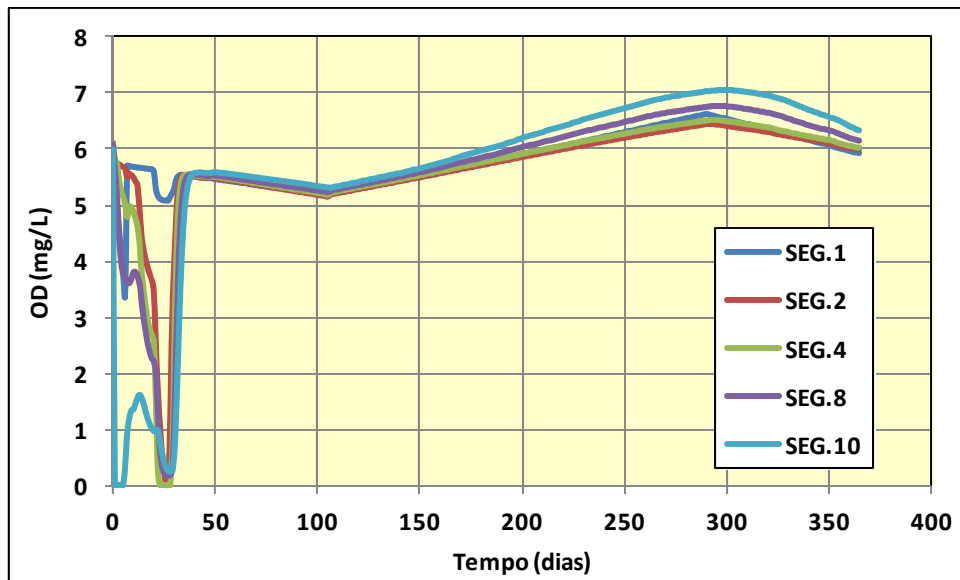
Nas Figuras 5.3.1.1 e 5.3.1.2 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido para cada segmento considerado na modelagem.

Verificam-se condições mais satisfatórias de qualidade da água nos segmentos que compõem o corpo central do reservatório onde a circulação da água se processa de forma preferencial. No corpo central do reservatório, as maiores concentrações de oxigênio dissolvido são verificadas nos segmentos 01 e 02 com tendência de redução deste índice a medida que se dirige para jusante, com tendência a atingir nível de anoxia nos segmentos 04, 08 e 10.

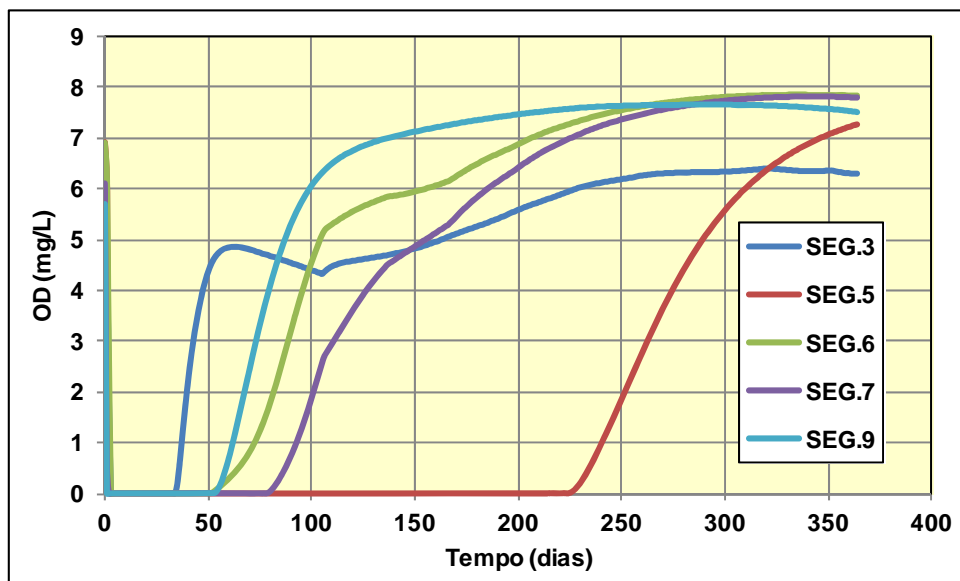
Além da degradação da fitomassa a serem observadas nos setores do corpo central do reservatório, haverá aduções de elementos e de matéria orgânica dissolvida das regiões de montante. Tais

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 e da depleção dos teores de OD, que deverão ocorrer nos segmentos mais a jusante, se devem ao transporte de matéria orgânica dos trechos a montante. Nesse contexto, os resultados sugerem a possível ocorrência de um gradiente longitudinal; tendo os segmentos mais a montante, as condições mais favoráveis de recuperação das concentrações de OD, como demonstram os resultados da simulação.

As partições do reservatório mais afetado pelo processo do enchimento estão relacionadas aos braços tributários e cujos compartimentos deverão ser objeto de ações preventivas de desmatamento e limpeza mais intensivas. Nestes compartimentos, a evolução temporal da taxa de oxigênio dissolvido apresentou um padrão comum de comportamento, chegando a atingir níveis de anoxia.



**Figura 5.3.1.1 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Dezembro - Condição Sem Desmatamento**



**Figura 5.3.1.2 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Dezembro Condição Sem Desmatamento**

- **Com Ações de Desmatamento e Limpeza do Reservatório**

Neste cenário são apresentados os resultados da simulação, considerando a realização de ações preventivas de desmatamento e limpeza da área a ser abrangido pelo futuro lago, visando assegurar as características (físicas e químicas) adequadas da qualidade da água durante as fases de enchimento e operação do reservatório.

Na simulação deste cenário, considerou-se o plano de desmatamento e limpeza do reservatório, conforme apresentado na Tabela 5.3.1.1, onde são assinalados os segmentos que deverão ser objeto destas ações com a apresentação dos valores percentuais de retirada de fitomassa.

Os maiores percentuais de desmatamento deverão ser desenvolvidos nos compartimentos dos braços tributários, com índices médios variando próximo de 95%, o que equivale uma retirada radical da mata residente. No corpo central do reservatório, apenas o segmento 01 esta ação não é necessária em função do escoamento estar restrito a calha do rio natural. Nos segmentos seguintes do corpo central do reservatório, os percentuais de desmatamentos variam entre 79% e 90%, a considerar a inundação das baixadas laterais onde o escoamento se processa de forma mais lenta.

As simulações indicam a necessidade de desenvolvimento de ações de desmatamento e limpeza do reservatório abrangendo uma área de 7.615 km² o que perfaz um índice 78,4% da área ocupada pelas diversas fisionomias vegetais.

Tabela 5.3.1.1 – Plano de Desmatamento do Reservatório – Enchimento em Dezembro

Segmento	Área ocupada pelas Fisionomias Vegetais (ha)	Área a Ser Desmatada (ha)	Desmatamento (%)
1	706,68	0,00	0,0
2	1.422,78	1.165,32	81,9
3	70,21	66,68	95,0
4	2.524,12	2.271,71	90,0
5	146,12	138,73	94,9
6	422,64	393,75	93,2
7	359,50	341,82	95,1
8	1.685,45	1.330,86	79,0
9	192,90	183,30	95,0
10	2.181,26	1.722,36	79,0
Reservatório	9.711,66	7.614,54	78,4

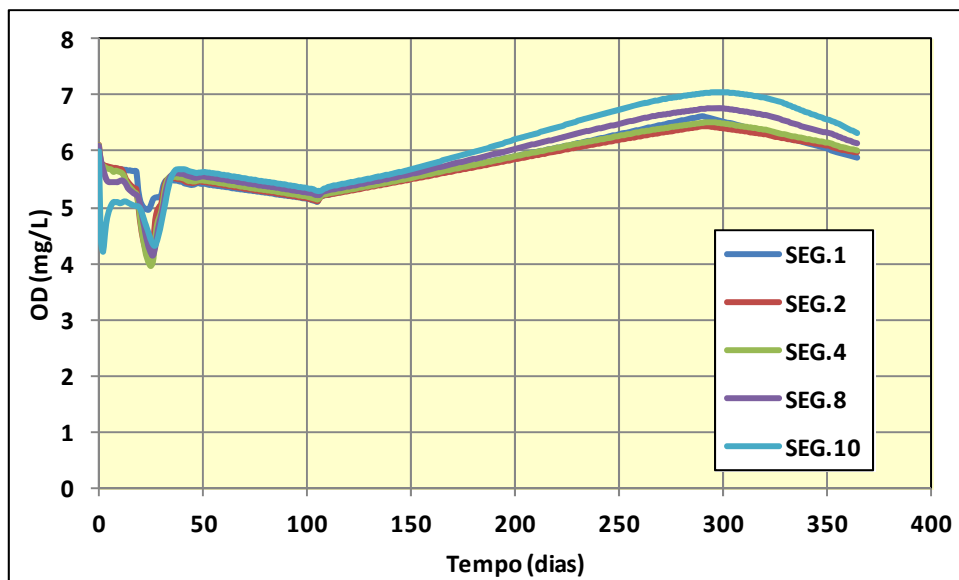
Nas Figuras 5.3.1.3 e 5.3.1.4 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido, integrando respectivamente os segmentos que compõem o corpo central do reservatório e dos braços tributários.

Nos compartimentos do corpo central do reservatório foi atingida a meta de condição mínima do oxigênio dissolvido de 4 mg/L. Nos braços tributários, apenas o segmento 06, foi possível manter a concentração mínima almejada pela simulação. Nos demais compartimentos dos braços tributários os valores das concentrações do oxigênio dissolvido variaram entre 1,6 e 3,4 mg/L, sem atingir no entanto níveis de anoxia. Considera-se que nem toda a matéria orgânica presente na área do reservatório é passível de remoção a considerar as parcelas do carbono integrado ao solo superficial e parte da serrapilheira.

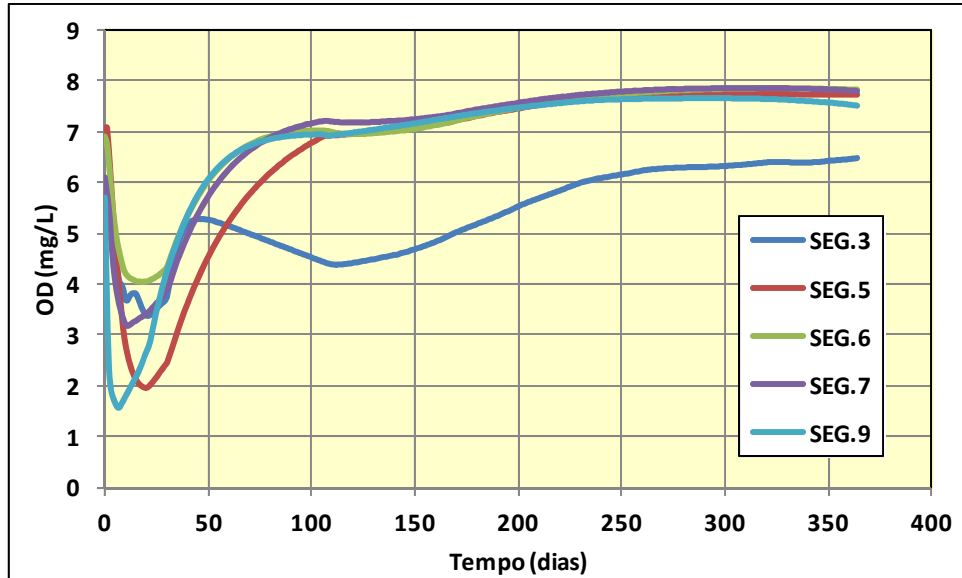
Em termos percentuais, a meta de manutenção das concentrações mínimas do oxigênio dissolvido de 4 mg/L foi atingida em 92% da área coberta pelo reservatório.

No corpo central do reservatório, estima-se uma recuperação das concentrações do oxigênio dissolvido, em nível de 5 mg/L, em um tempo aproximado de 40 dias. Para os braços tributários, as concentrações mínimas normalizadas pela Resolução CONAMA deverá ocorrer em um tempo aproximado de 60 dias. No segmento 03 em particular, as concentrações do oxigênio após uma recuperação, volta a cair até meados do mês de março, atingindo índices mínimos de até 4,4 mg/L. Este comportamento está relacionado as baixas concentrações do oxigênio dissolvido aportadas neste segmento que atinge níveis próximos de 4 mg/L no mês de março.

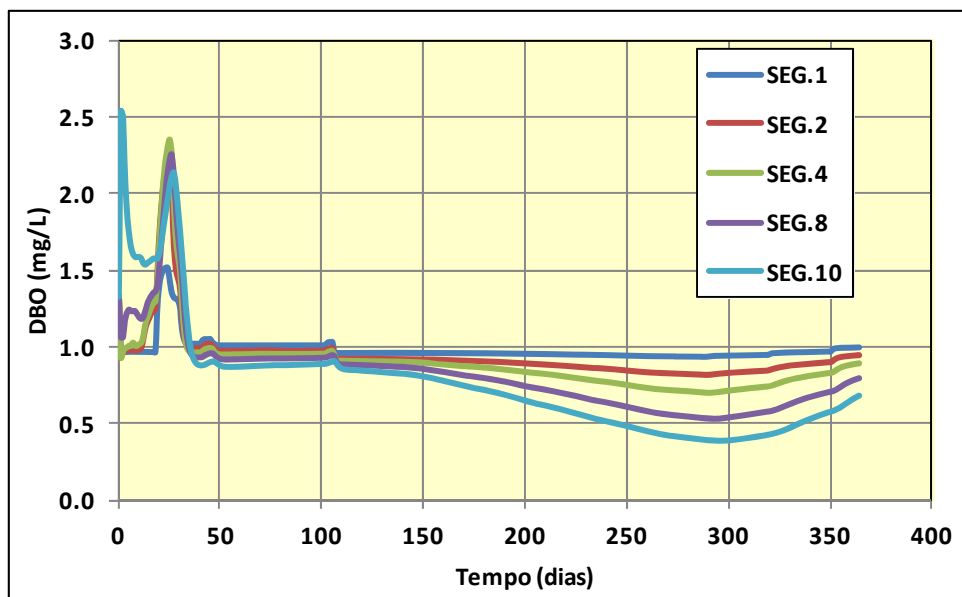
Nas Figuras 5.3.1.5 e 5.3.1.6 são apresentados os respectivos gráficos retratando a evolução temporal da DBO – demanda bioquímica do oxigênio, onde se verificam no corpo central do reservatório concentrações máximas próximas de 2,5 mg/L e nos compartimentos dos braços tributários índices máximos de 5 mg/L, atendendo o que determina a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 para enquadramento de rio em classe 2 que determina um Valor Máximo Permitido de 5 mg/L.



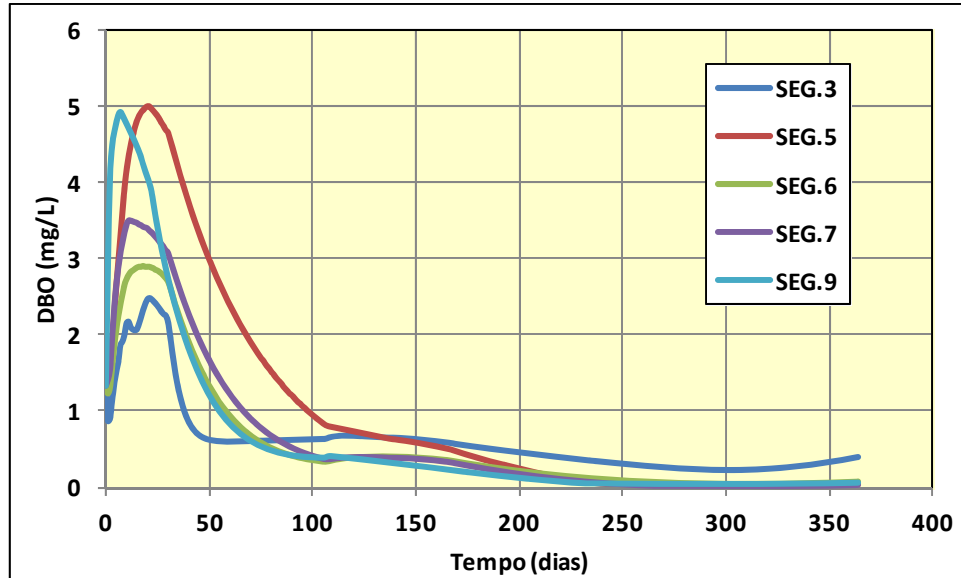
**Figura 5.3.1.3 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.1.4 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Dezembro - Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.1.5 – DBO – Corpo Central
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.1.6 – DBO – Braços Tributários
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento**

Nas Figuras 5.3.1.7 a 5.3.1.12 são apresentados a evolução temporal dos nutrientes nitrato, amônia e fósforo.

No corpo central do reservatório, as concentrações de nitrato variaram entre 0,10 e 0,13 mg/L e nos braços tributários entre 0,02 e 0,14 mg/L, abaixo do limite máximo de 10 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 para enquadramento de rio em classe 2.

Mesma condição é observada para as concentrações de amônia com índices máximos atingidos de 0,12 mg/L, também atendendo a Resolução CONAMA 357, que estabelece para pH < 7,5 uma concentração máxima de 3,7 mg/L para enquadramento de rio em classe 2.

Na análise das concentrações de fósforo, consideraram-se de forma diferenciada, os compartimentos que compõem o corpo central do reservatório dos braços tributários, que apresentam condições hídricas diferenciadas de circulação da água.

Neste contexto, considera-se a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 para enquadramento de rios em classe 2, que normaliza para o fósforo total, faixas de Valores Máximos Permitidos (VMP), segundo o tipo de ambiente hídrico, conforme apresentado na Tabela 5.3.1.2.

Tabela 5.3.1.2 – Faixas de Valores Máximos Permitidos - Fósforo Total para Rios Classe 2

Ambiente	Concentração (mg/L)
Ambiente lântico	0,030
Ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico.	0,050
Ambiente lótico e tributário de ambiente intermediário.	0,100

Os compartimentos do corpo central do reservatório apresentam um tempo de residência próximo de 3,6 dias, o que permite classificar como ambiente assemelhado mais a condição de rio, como propriamente de reservatório. Após a estabilização das condições hidrobioquímicas do reservatório, a qualidade da água dos compartimentos do corpo central ficará mais condicionada as cargas limnológicas provenientes do alto curso do rio Ji-Paraná do que propriamente das geradas na bacia intermediária ao reservatório.

No corpo central do reservatório, os resultados da modelagem matemática apuram uma concentração máxima de fósforo próxima de 0,12 mg/L no compartimento mais a montante, com tendência de redução das concentrações a medida que se dirige para jusante. As maiores reduções das concentrações de fósforo são verificadas durante o período seco, com índices mínimos verificados de 0,080 mg/L no segmento 10. Nestas condições são atendidas parcialmente o que determina a Resolução do CONAMA 357 para enquadramento de rios classe 2.

Para os braços tributários, que apresentam características de ambiente lântico, as concentrações encontradas variaram de 0,110 mg/L durante a fase de incorporação da fitomassa remanescente, estabilizando-se em patamares variando entre 0,01 e 0,06 mg/L, o que configura também um atendimento parcial preconizado pela Resolução CONAMA que especifica o valor máximo permitido de 0,030 mg/L para rios classe 2.

As condições mais restritivas para o ambiente lântico vêm de encontro da necessidade de se considerar índice mais elevado de desmatamento nos compartimentos que compõem os braços do reservatório e no controle dos usos múltiplos da água do reservatório durante a fase de operação, quanto ao controle da afluência de cargas poluidoras acima do limite de assimilação e autodepuração dos constituintes nitrogenados e fosfatados.

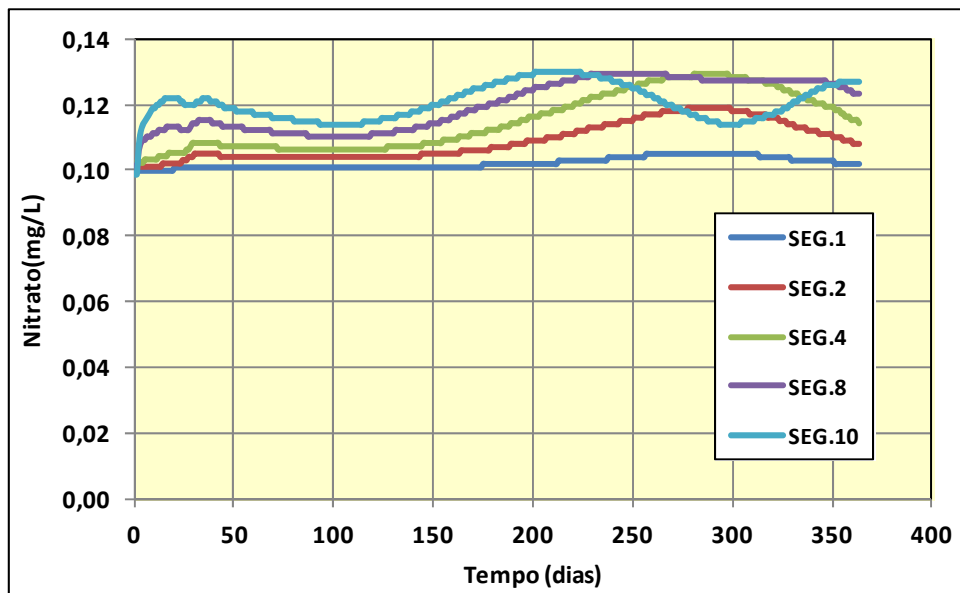


Figura 5.3.1.7 – Nitrato – Corpo Central
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento

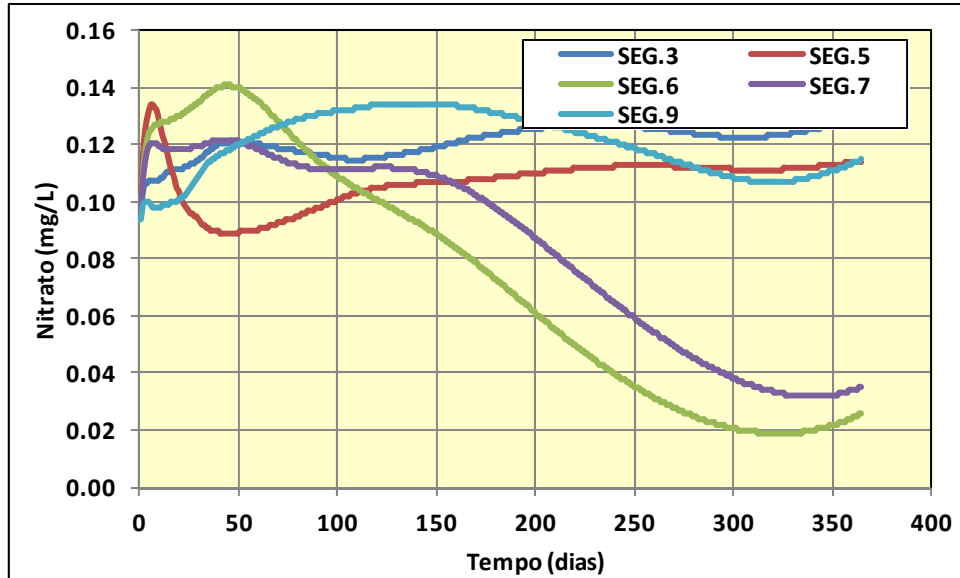


Figura 5.3.1.8 – Nitrato – Braços Tributários
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento

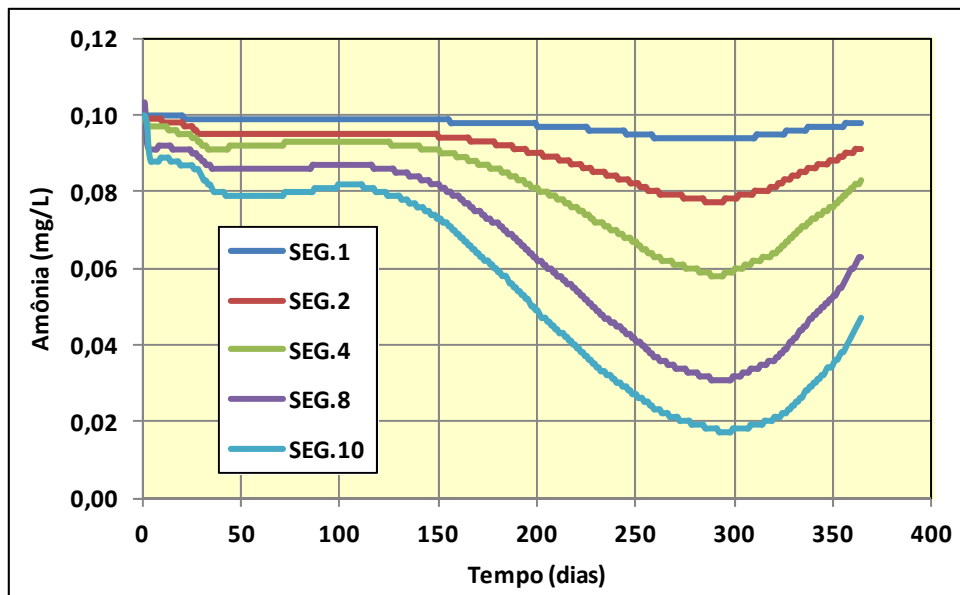


Figura 5.3.1.9 – Amônia – Corpo Central
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento

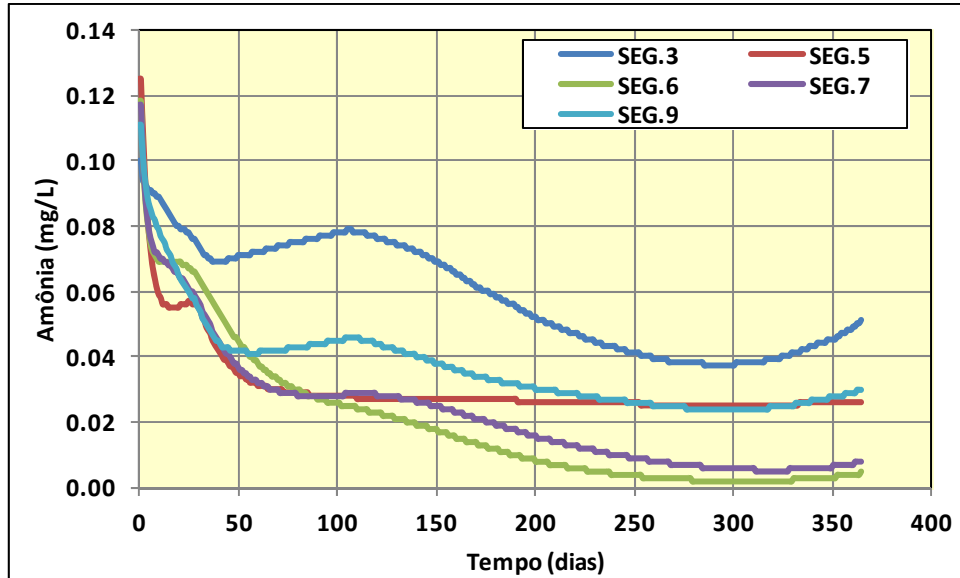


Figura 5.3.1.10 – Amônia – Braços Tributários
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento

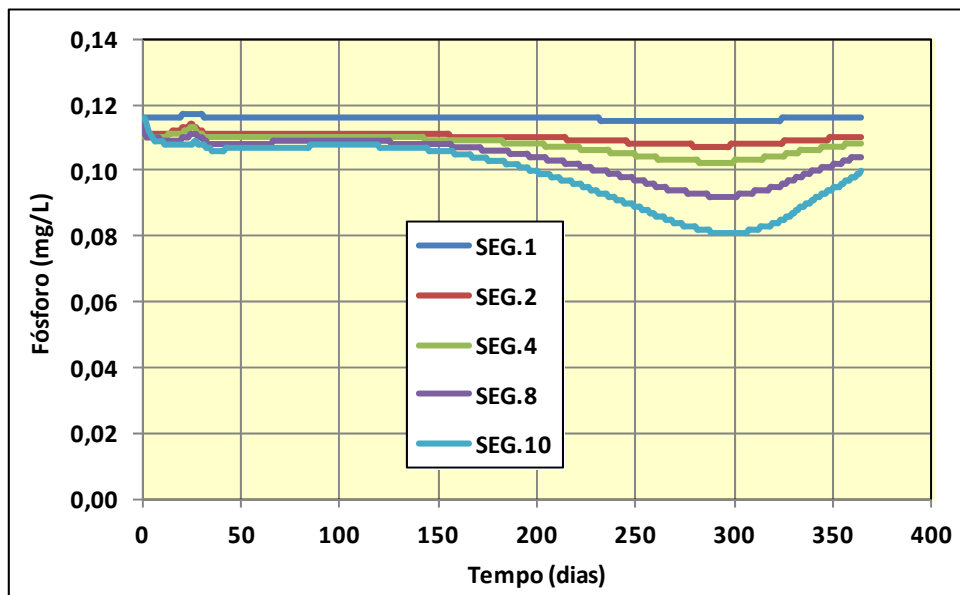


Figura 5.3.1.11 – Fósforo – Corpo Central
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento

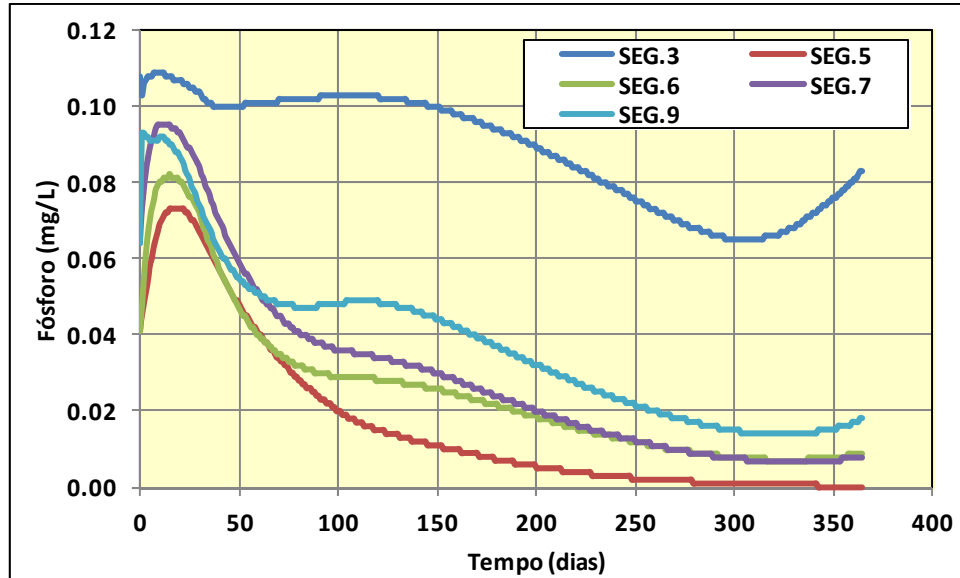


Figura 5.3.1.12 – Fósforo – Braços Tributários
Enchimento em Dezembro – Condição: Com Desmatamento

5.3.2 Apresentação do Cenário 02 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Março

- **Sem Desmatamento do Reservatório**

Neste cenário foi analisado o comportamento da qualidade da água, considerando-se a inundação da biomassa natural residente na área do lago formado e cujos resultados são utilizados como referência para o cenário com desmatamento.

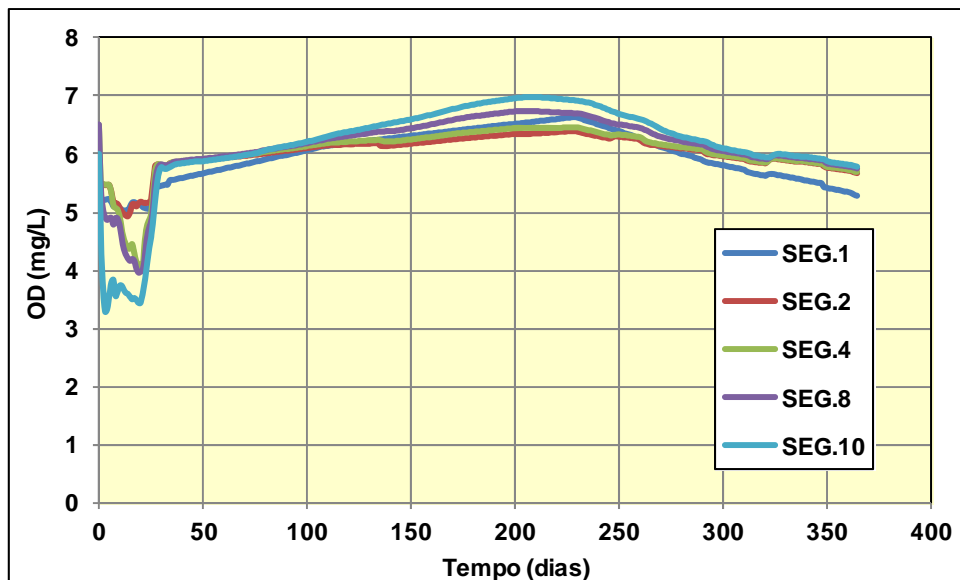
Nas Figuras 5.3.2.1 e 5.3.2.2 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido para cada segmento considerado na modelagem.

As concentrações de oxigênio dissolvido encontradas nos compartimentos do corpo central aferem uma grande influência das condições das cargas aportadas a montante provenientes do rio Ji-Paraná, ao considerar a magnitude das vazões afluente no mês de março (3.673 m³/s) e o reduzido tempo de residência do reservatório.

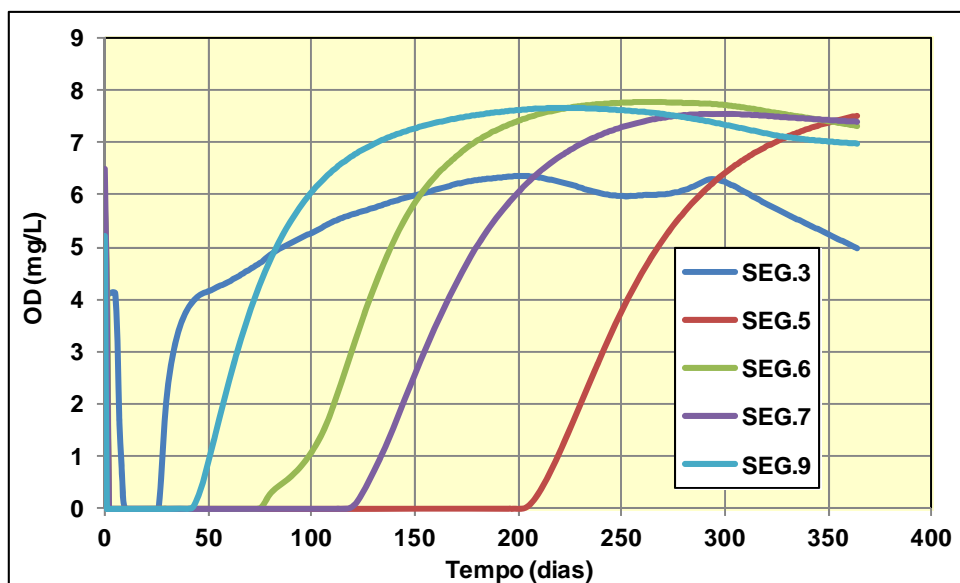
Verificam-se condições mais satisfatórias de qualidade da água nos segmentos que compõem o corpo central do reservatório onde a circulação da água se processa de forma preferencial. As maiores concentrações de oxigênio dissolvido são verificadas nos compartimentos 01 e 02 situados mais a montante onde são verificados com índices próximos de 5 mg/L, observando uma tendência gradual de redução a medida que adentra para o interior do reservatório, com índices próximos de 4 mg/L no segmento 08 e 3,3 mg/L no segmento 10. As condições observadas são típicas dos processos hidrobiológicos dinâmicos dos reservatórios, onde além da degradação da fitomassa observada nos setores do corpo central do reservatório, haverá aduções de elementos e de matéria orgânica dissolvida dos compartimentos de montante incrementando as pressões sobre as concentrações de oxigênio dissolvido nos trechos mais a jusante.

Assim, parte dos incrementos das concentrações de DBO e da depleção dos teores de OD, que deverão ocorrer nos segmentos mais a jusante, se devem ao transporte de matéria orgânica dos trechos a montante, sugerindo a ocorrência de um gradiente longitudinal; tendo os segmentos mais a montante, as condições mais favoráveis de recuperação das concentrações de OD, como demonstram os resultados da simulação.

As partições do reservatório mais afetado pelo processo do enchimento estão relacionadas aos braços tributários e cujos compartimentos deverão ser objeto de ações preventivas de desmatamento e limpeza mais intensivas. Nestes compartimentos, a evolução temporal da taxa de oxigênio dissolvido apresentou um padrão comum de comportamento, chegando a atingir níveis de anoxia.



**Figura 5.3.2.1 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Março – Condição: Sem Desmatamento**



**Figura 5.3.2.2 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Março Condição: Sem Desmatamento**

- **Com Ações de Desmatamento e Limpeza do Reservatório**

Neste cenário são apresentados os resultados da simulação, considerando a realização de ações preventivas de desmatamento e limpeza da área a ser abrangido pelo futuro lago, visando minimizar as alterações das características (químicas e físicas) da água durante as fases de enchimento e operação do reservatório.

Na simulação deste cenário, considerou-se o plano de desmatamento e limpeza do reservatório, conforme apresentado na Tabela 5.3.2.1, onde são assinalados os segmentos que deverão ser objeto destas ações com a apresentação dos valores percentuais de retirada de fitomassa.

Os maiores percentuais de desmatamento deverão ser desenvolvidos nos compartimentos dos braços tributários, com índices próximos de 95%, o que equivale a uma retirada intensa da mata residente.

No corpo central do reservatório, as ações de desmatamento e limpeza deverão ser consideradas parcialmente nos segmentos 04 e 08 e realizadas de forma mais intensiva no segmento 10 com a remoção de 90% da mata residente.

As simulações indicam a necessidade de desenvolvimento de ações de desmatamento e limpeza do reservatório abrangendo uma área de 4.513,0 km² o que perfaz um índice 46,5% da área ocupada pelas diversas fisionomias vegetais.

Tabela 5.3.2.1 – Plano de Desmatamento do Reservatório – Enchimento em Março

Segmento	Área ocupada pelas Fisionomias Vegetais (ha)	Área a Ser Desmatada (ha)	Desmatamento (%)
1	706,68	0,00	0,0
2	1.422,78	0,00	0,0
3	70,21	66,68	95,0
4	2.524,12	1.262,06	50,0
5	146,12	138,73	94,9
6	422,64	401,24	94,9
7	359,50	341,82	95,1
8	1.685,45	592,33	35,1
9	192,90	183,30	95,0
10	2.181,26	1526,88	70,0
Reservatório	9.711,66	4513,042	46,5

Nas Figuras 5.3.2.3 e 5.3.2.4 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido, cada gráfico integrando respectivamente os segmentos que compõem o corpo central do reservatório e os segmentos dos braços tributários.

Nos compartimentos do corpo central do reservatório foi atingida a meta de condição mínima do oxigênio dissolvido de 4 mg/L.

Nos braços tributários, apenas o segmento 06, foi possível manter a concentração mínima almejada pela simulação. Nos demais compartimentos dos braços do reservatório, o objetivo de manter a concentração do oxigênio dissolvido acima de 4 mg/L não foi atingida, apesar dos altos níveis de desmatamento considerados. As concentrações variaram entre 2,6 e 3,9 mg/L, sem atingir portanto níveis de anoxia. Considera-se que nem toda a matéria orgânica presente na área do reservatório é passível remoção a considerar as parcelas do carbono integrado ao solo superficial e parte da serrapilheira.

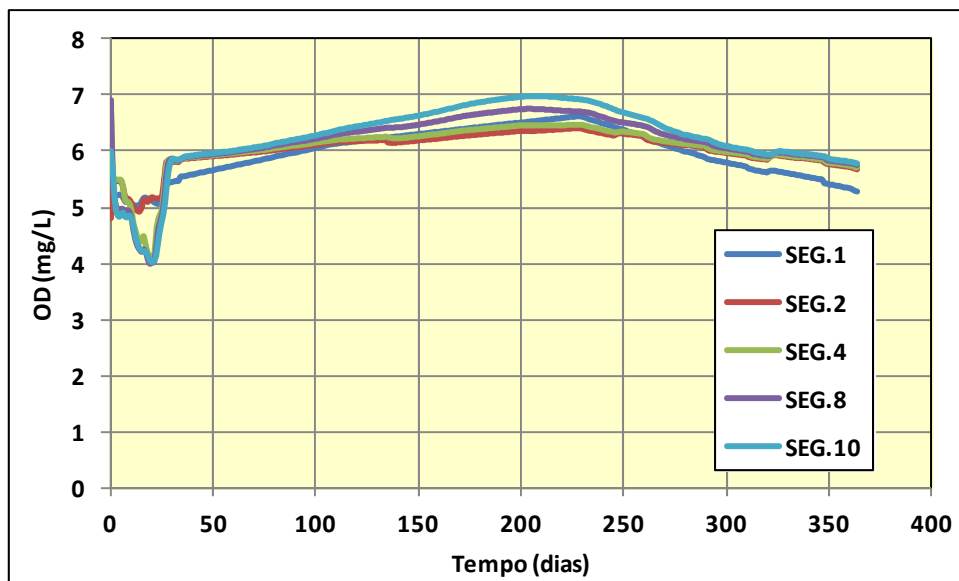
Em termos percentuais, a meta de manutenção das concentrações mínimas do oxigênio acima de 4 mg/L foi atingida em 92% da área coberta pelo reservatório.

No corpo central do reservatório, estima-se uma recuperação das concentrações do oxigênio dissolvido, em nível de 5 mg/L, em um tempo aproximado de 30 dias. Para os braços tributários, as concentrações mínimas normalizadas pela Resolução CONAMA deverá ocorrer em um tempo

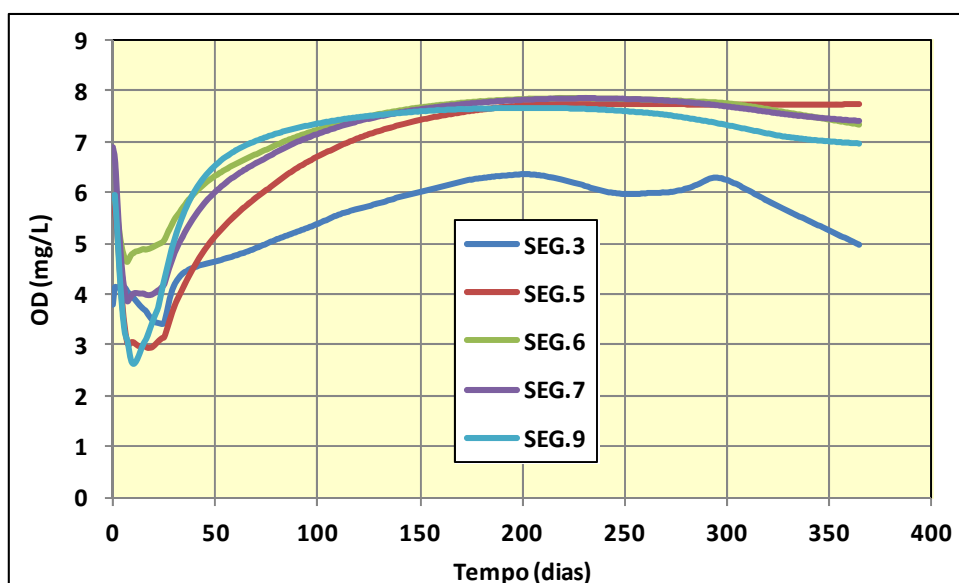
aproximado de 80 dias. Esta recuperação é específica para o segmento 03 representativa do igarapé Marmelos, onde se observam afluições com concentrações de oxigênio dissolvido muito reduzidas e em grande parte do tempo inferior a 5 mg/L. Para os demais segmentos dos braços tributários a recuperação esperada é de 50 dias.

Estima-se, uma recuperação das concentrações mínimas do oxigênio dissolvido, em nível de 5 mg/l, em um tempo aproximado de 80 dias.

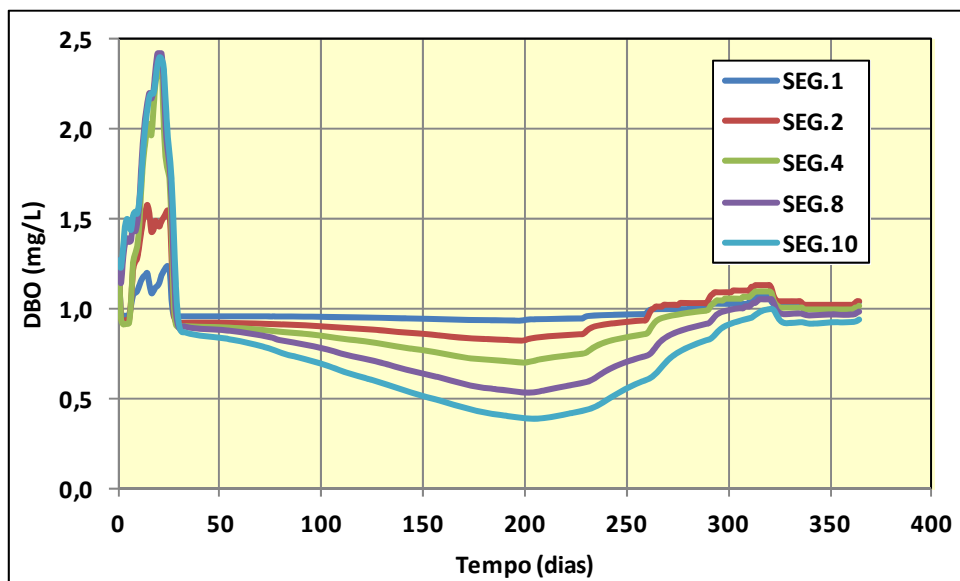
Nas Figuras 5.3.2.5 e 5.3.2.6 são apresentados os respectivos gráficos retratando a evolução temporal da DBO – demanda bioquímica do oxigênio, onde se verificam no corpo central do reservatório concentrações máximas próximas de 2,5 mg/L e nos compartimentos dos braços tributários índices máximos de 4,3 mg/L, atendendo o que determina a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 para enquadramento de rio em classe 2.



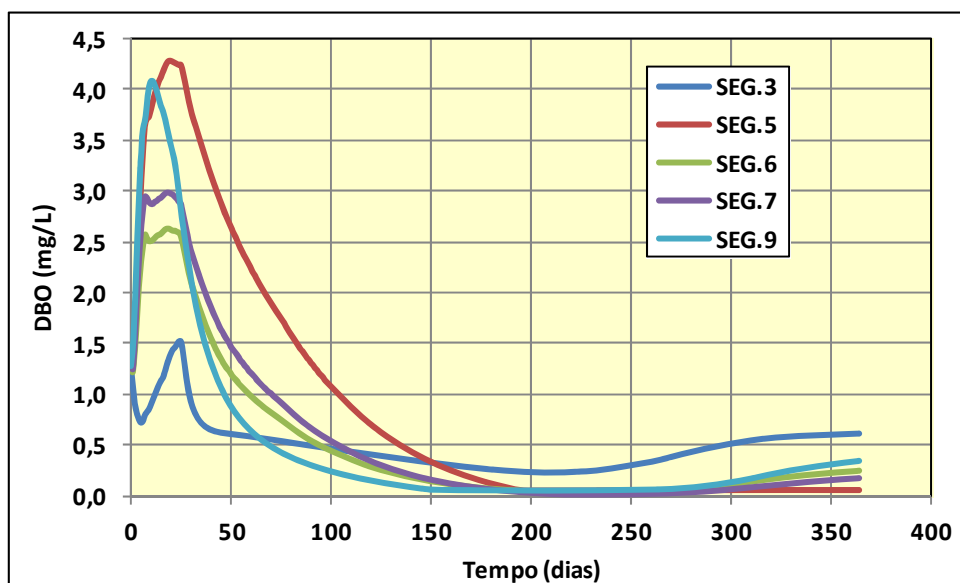
**Figura 5.3.2.3 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.2.4 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Março Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.2.5 – DBO – Corpo Central
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.2.6 – DBO – Braços Tributários
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento**

Nas Figuras 5.3.2.7 a 5.3.2.12 são apresentadas a evolução temporal dos nutrientes nitrato, amônia e fósforo.

No corpo central do reservatório, as concentrações de nitrato variaram entre 0,10 e 0,13 mg/L e nos braços tributários entre 0,02 e 0,14 mg/L, abaixo do limite máximo de 10 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 para enquadramento de rio em classe 2.

Mesma condição é observada para as concentrações de amônia com índices máximos atingidos de 0,10 mg/L, também atendendo a Resolução CONAMA 357, que estabelece para pH < 7,5 uma concentração máxima de amônia de 3,7 mg/L para enquadramento de rio em classe 2.

O comportamento temporal apurado para o constituinte fósforo assemelha-se ao descrito anteriormente para o caso da alternativa de enchimento realizado no mês de dezembro.

No corpo central do reservatório, os resultados da modelagem matemática apuram uma concentração máxima de fósforo próxima de 0,12 mg/L no compartimento mais a montante, com tendência de redução das concentrações a medida que se dirige para jusante. As maiores reduções das concentrações de fósforo são verificadas durante o período seco, com índices mínimos verificados de 0,080 mg/L no segmento 10. Nestas condições são atendidas parcialmente o que determina a Resolução do CONAMA 357 para enquadramento de rios classe 2.

Para os braços tributários, que apresentam características de ambiente lântico, as concentrações encontradas variaram de 0,110 mg/L durante a fase de incorporação da fitomassa remanescente, estabilizando-se em patamares variando entre 0,01 e 0,05 mg/L, o que configura também um atendimento parcial preconizado pela Resolução CONAMA que especifica o valor máximo permitido de 0,030 mg/L para rios classe 2.

As condições mais restritivas para o ambiente lântico vêm de encontro da necessidade de se considerar índice mais elevado de desmatamento dos compartimentos que compõem os braços do reservatório e no controle dos usos múltiplos da água do reservatório durante a fase de operação, quanto ao controle da afluência de cargas poluidoras acima do limite de assimilação e autodepuração dos constituintes nitrogenados e fosfatados.

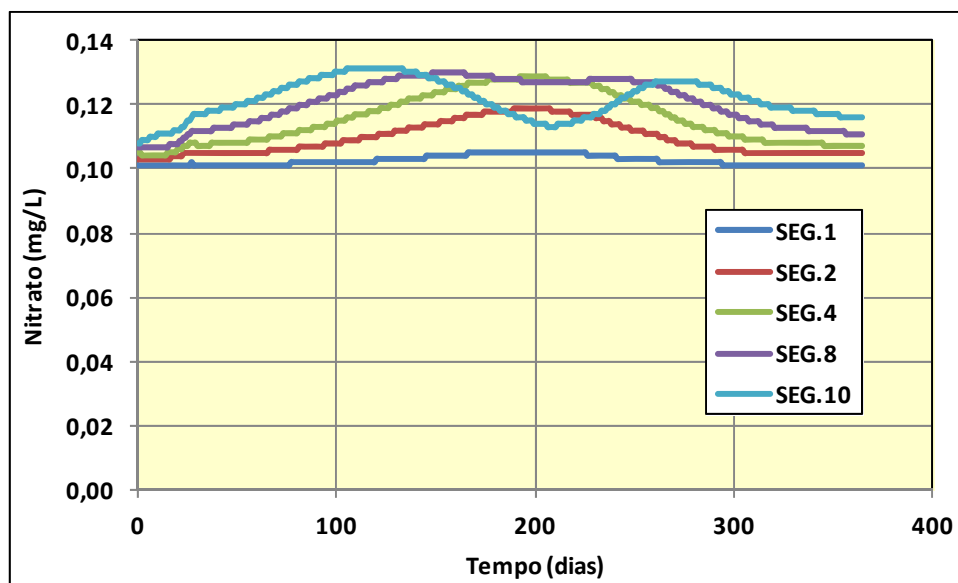


Figura 5.3.2.7 – Nitrato – Corpo Central
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento

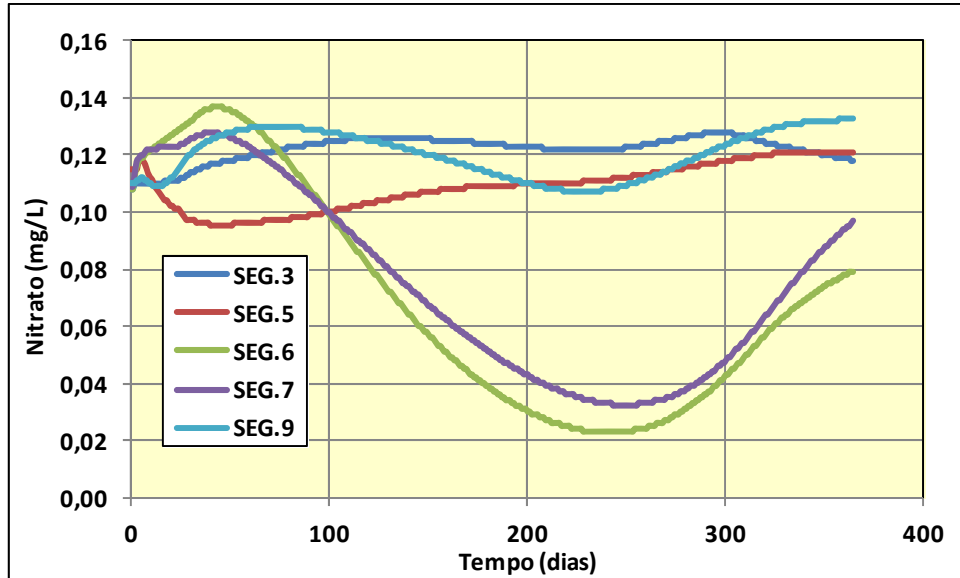


Figura 5.3.2.8 – Nitrato – Braços Tributários
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento

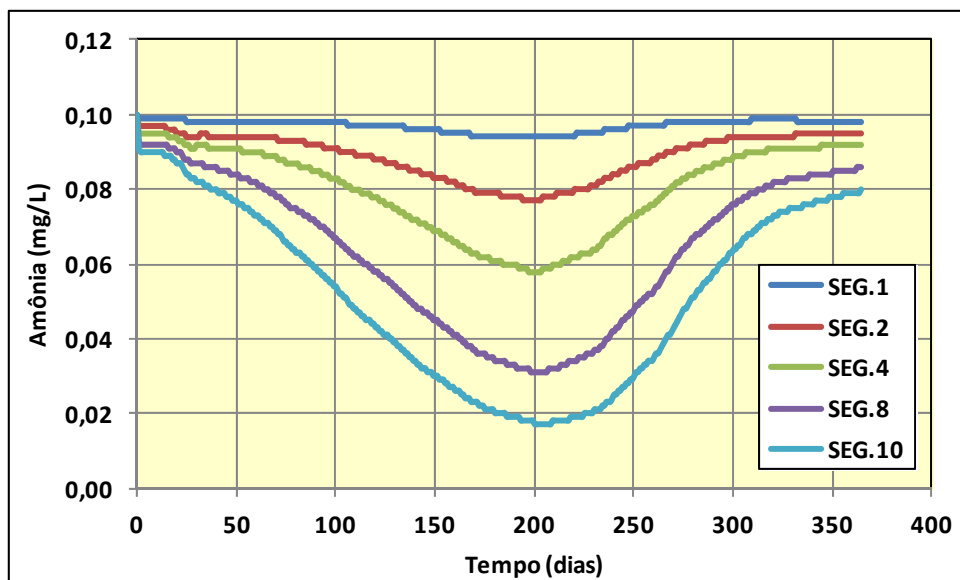
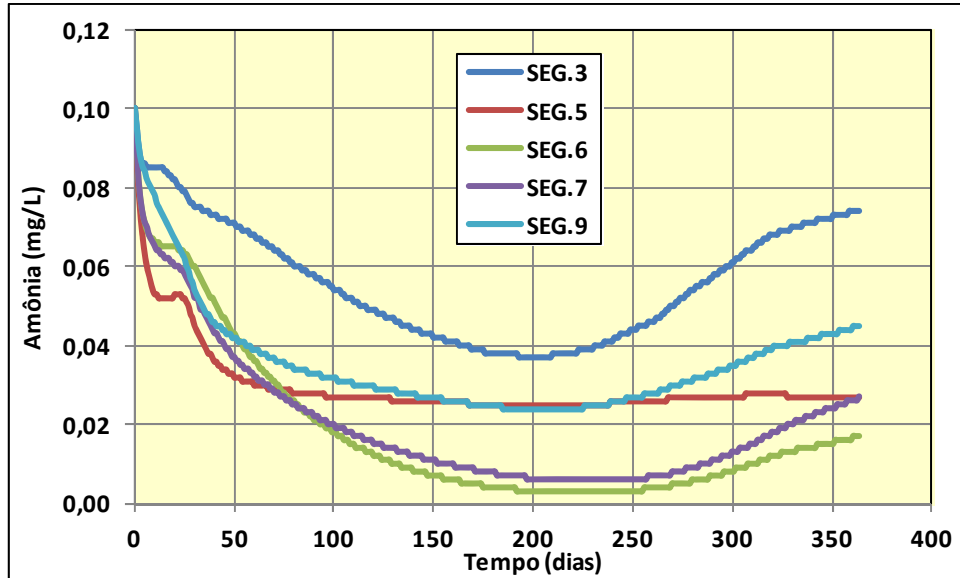
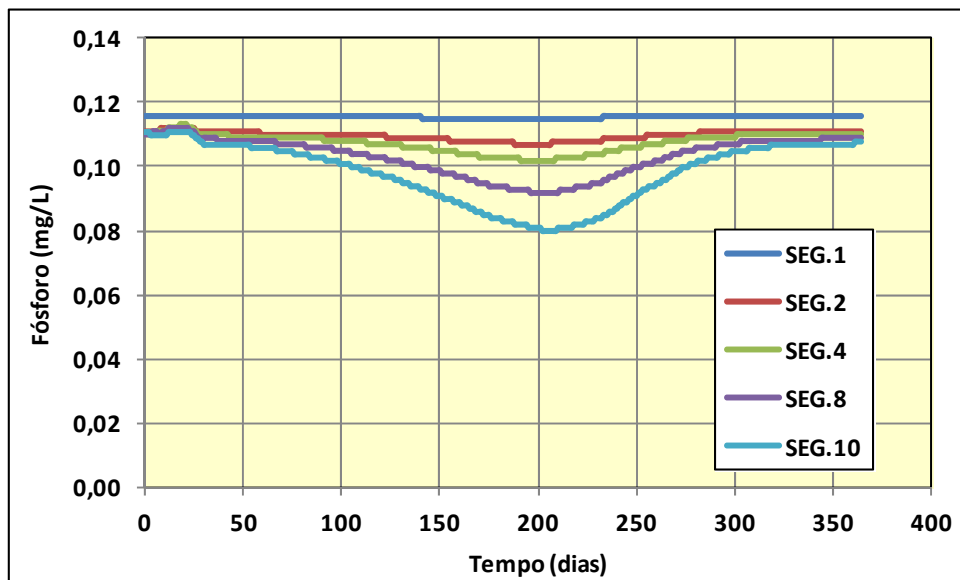


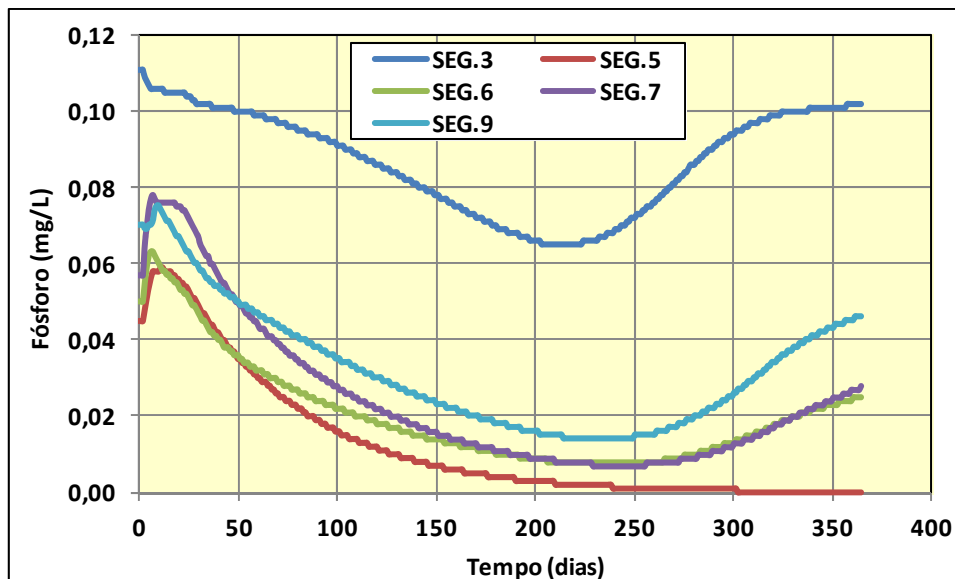
Figura 5.3.2.9 – Amônia – Corpo Central
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento



**Figura 5.3.2.10 – Amônia – Braços Tributários
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.2.11 – Fósforo – Corpo Central
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.2.12 – Fósforo – Braços Tributários
Enchimento em Março – Condição: Com Desmatamento**

5.3.3 Apresentação do Cenário 03 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Junho

- **Sem Desmatamento do Reservatório**

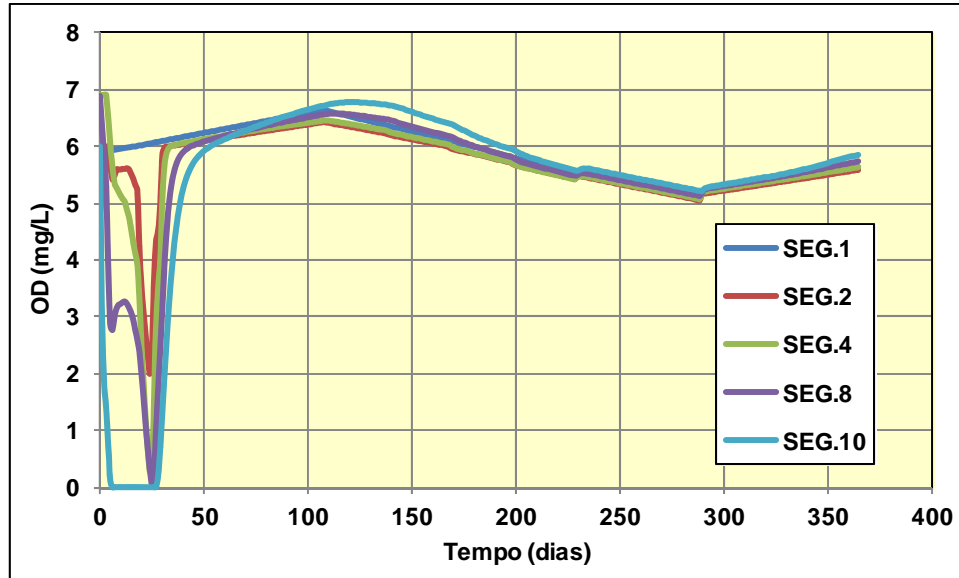
Neste cenário, o comportamento da qualidade da água é analisado considerando-se a inundação da biomassa natural residente na área do lago a ser formado e cujos resultados são utilizados como referência para o cenário com desmatamento.

Nas Figuras 5.3.3.1 e 5.3.3.2 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido para cada segmento considerado na modelagem.

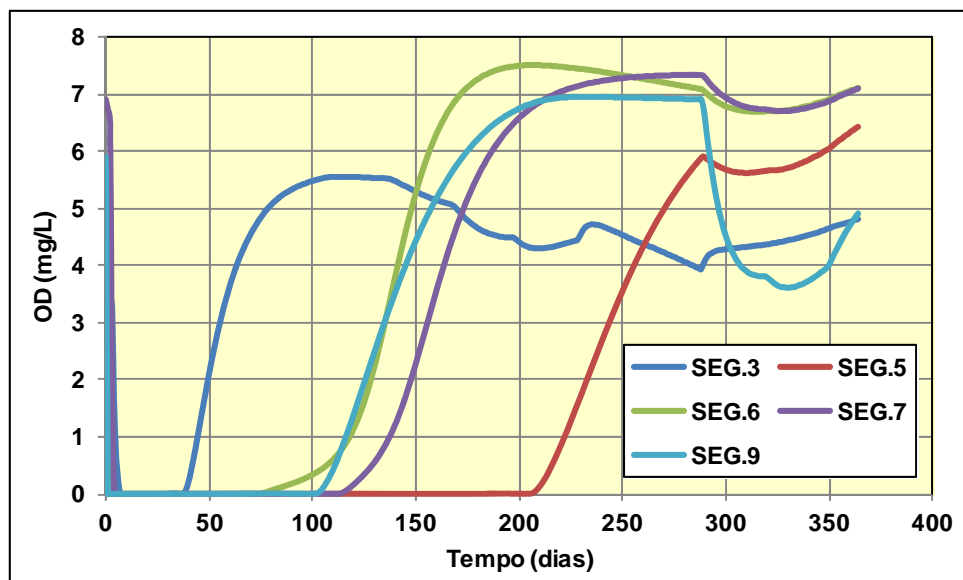
Verificam-se condições mais satisfatórias de qualidade da água nos segmentos que compõem o corpo central do reservatório onde a circulação da água ocorre de forma preferencial.

Maior concentração do oxigênio dissolvido é verificada no segmento 01 situados mais a montante onde são verificados índices mínimos próximos de 5 mg/L, observando uma forte tendência de redução das concentrações a medida que adentra para o interior do reservatório, onde são observados índices mínimos variando entre 2 mg/L no segmento 2 a nível de anoxia no segmento 10.

Os compartimentos que compõem os braços laterais do reservatório se revelam em condições mais críticas, apresentando um padrão comum de deplecionamento do oxigênio dissolvido, com níveis de anoxia mantidas por longos períodos de tempo, chegando a superar 200 dias.



**Figura 5.3.3.1 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Junho – Condição: Sem Desmatamento**



**Figura 5.3.3.2 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Junho Condição: Sem Desmatamento**

- **Com Ações de Desmatamento e Limpeza do Reservatório**

Neste cenário são apresentados os resultados da simulação, considerando a realização de ações preventivas de desmatamento e limpeza da área a ser abrangido pelo futuro lago, visando minimizar as alterações das características da água durante as fases de enchimento e operação do reservatório.

Na simulação deste cenário, considerou-se o plano de desmatamento e limpeza do reservatório, conforme apresentado na Tabela 5.3.3.1, onde são assinalados os segmentos que deverão ser objeto destas ações com a apresentação dos valores percentuais de retirada de fitomassa.

Os maiores percentuais de desmatamento deverão ser desenvolvidos nos compartimentos dos braços tributários, com índices próximos de 95%, o que equivale uma retirada radical da mata residente. No corpo central do reservatório, apenas no segmento 01 esta ação não é necessária em função do escoamento estar restrita a calha do rio natural. Nos segmentos seguintes do corpo central do reservatório, os percentuais de desmatamentos variam entre 55% e 90%, a considerar a inundação das baixadas laterais onde o escoamento se processa de forma mais lenta.

As simulações indicam a necessidade de desenvolvimento de ações preventivas de desmatamento e limpeza do reservatório abrangendo uma área de 6.941 km² o que perfaz um índice 71,5% da área ocupada pelas diversas fisionomias vegetais.

Tabela 5.3.3.1 – Plano de Desmatamento do Reservatório – Enchimento em Junho

Segmento	Área ocupada pelas Fisionomias Vegetais (ha)	Área a Ser Desmatada (ha)	Desmatamento (%)
1	706,68	0,00	0,0
2	1.422,78	779,14	54,8
3	70,21	66,68	95,0
4	2.524,12	2.271,71	90,0
5	146,12	138,73	94,9
6	422,64	393,75	93,2
7	359,50	341,82	95,1
8	1.685,45	1.132,85	67,2
9	192,90	183,30	95,0
10	2.181,26	1.632,96	74,9
Reservatório	9.711,66	6.940,94	71,5

Nas Figuras 5.3.3.3 e 5.3.3.4 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido, que integram respectivamente os segmentos que compõem o corpo central do reservatório e os segmentos dos braços tributários.

Nos compartimentos do corpo central do reservatório foi atingida a meta de condição mínima do oxigênio dissolvido de 4 mg/L.

Nos braços tributários, apenas o segmento 06, foi possível manter a concentração mínima almejada pela simulação. Nos demais compartimentos dos braços tributários os valores das concentrações do oxigênio dissolvido variaram entre 1,2 mg/L no segmento 03 e 2,7 mg/L no segmento 07, sem atingir no entanto níveis de anoxia. Considera-se que nem toda a matéria orgânica presente na área do reservatório é passível remoção a considerar as parcelas do carbono integrado ao solo superficial e parte da serrapilheira.

Em termos percentuais, a meta de manutenção das concentrações mínimas do oxigênio dissolvido de 4 mg/L foi atingida em 92% da área coberta pelo reservatório.

No corpo central do reservatório, estima-se uma recuperação das concentrações do oxigênio dissolvido, em nível de 5 mg/L, em um tempo aproximado de 30 dias. Para os braços tributários, as concentrações mínimas normalizadas pela Resolução CONAMA deverá ocorrer em um tempo aproximado de 60 dias. No entanto, observa-se no segmento 03, quedas nas concentrações do oxigênio dissolvido a partir do mês de setembro, caindo progressivamente até o mês de março onde

são encontradas concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg/L. Este comportamento está relacionado as baixas concentrações do oxigênio dissolvido aportadas neste segmento que atinge níveis próximos de 4 mg/L no mês de março.

Nas Figuras 5.3.3.5 e 5.3.3.6 são apresentados os respectivos gráficos retratando a evolução temporal da DBO – demanda bioquímica do oxigênio, onde se verificam no corpo central do reservatório concentrações máximas próximas de 2,7 mg/L.

Nos compartimentos que integram os braços tributários foi verificada concentração máxima de DBO 5,5 mg/L no segmento 5, o único que extrapolou o valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357 para enquadramento de rios em classe 2.

**Figura 5.3.3.3 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento**

**Figura 5.3.3.4 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Junho Condição: Com Desmatamento**

- 88 -

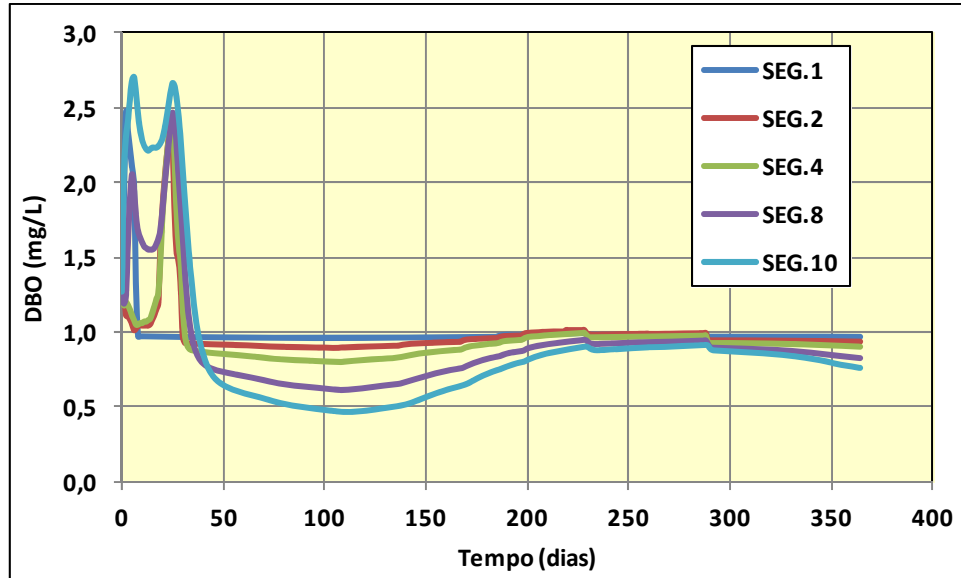


Figura 5.3.3.5 – DBO – Corpo Central
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento

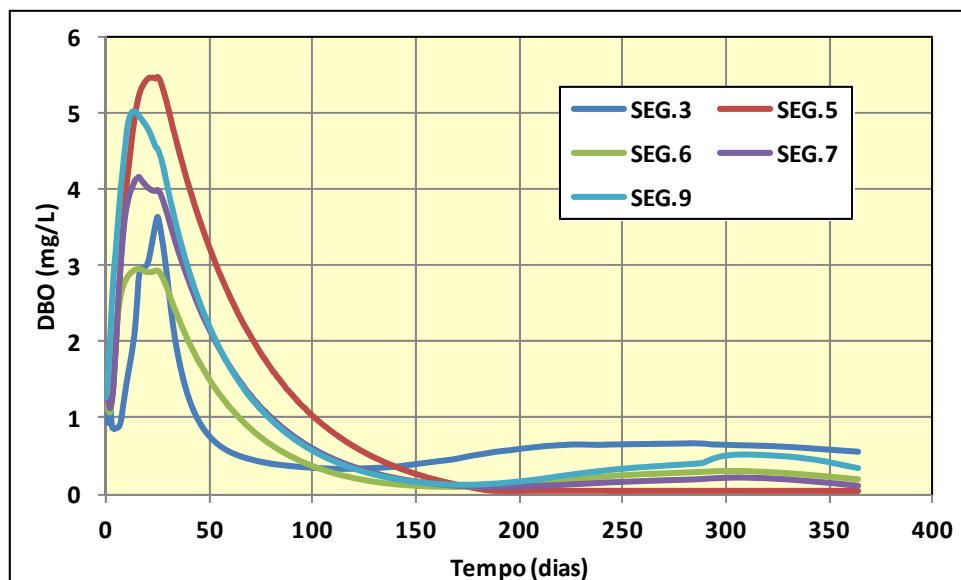


Figura 5.3.3.6 – DBO – Braços Tributários
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento

Nas Figuras 5.3.3.7 a 5.3.3.12 são apresentados a evolução temporal dos nutrientes nitrato, amônia e fósforo.

No corpo central do reservatório, as concentrações de nitrato variaram entre 0,10 e 0,14 mg/L e nos braços tributários entre 0,04 e 0,15 mg/L, abaixo do limite máximo de 10 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA 357 para enquadramento de rio em classe 2.

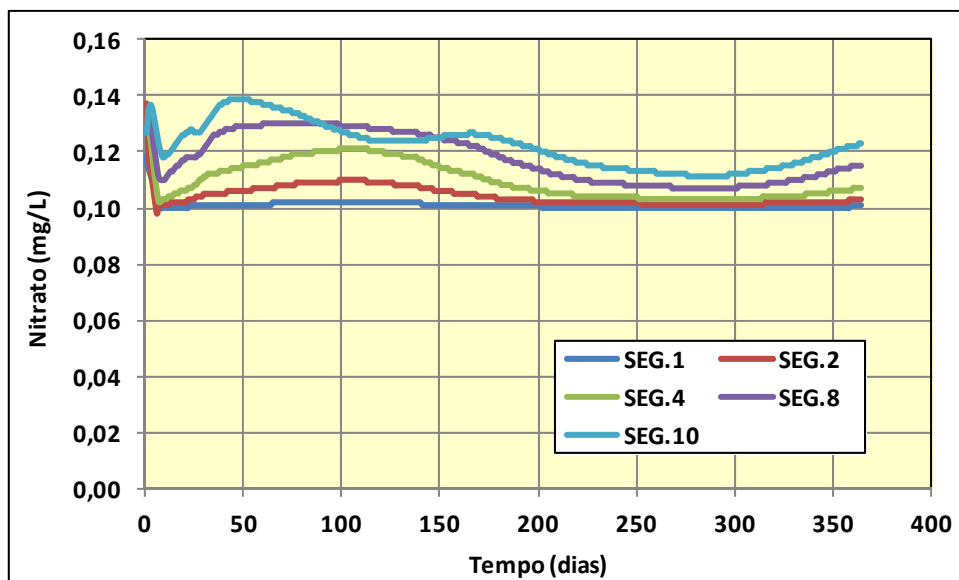
Mesma condição é observada para as concentrações de amônia com índices máximos atingidos de 0,13 mg/L, também atendendo a Resolução CONAMA 357, que estabelece para pH da água < 7,5 uma concentração máxima de amônia de 3,7 mg/L para enquadramento de rio em classe 2.

No corpo central do reservatório, os resultados da modelagem matemática apuram uma concentração máxima de fósforo próxima de 0,12 mg/L no compartimento mais a montante, com tendência de redução das concentrações a medida que se dirige para jusante. As maiores reduções

das concentrações de fósforo são verificadas durante o período seco, com índices mínimos verificados de 0,090 mg/L no segmento 10. Nestas condições são atendidas parcialmente o que determina a Resolução do CONAMA 357 para enquadramento de rios classe 2.

Os braços tributários, que apresentam características de ambiente lentic, as concentrações encontradas variaram de 0,110 mg/L durante a fase de incorporação da fitomassa remanescente, estabilizando-se em patamares variando entre 0,01 e 0,10 mg/L, o que configura também um atendimento parcial preconizado pela Resolução CONAMA que especifica o valor máximo permitido de 0,030 mg/L para rios classe 2.

As condições mais restritivas para o ambiente lântico vêm de encontro da necessidade de se considerar índice mais elevado de desmatamento dos compartimentos que compõem os braços do reservatório e no controle dos usos múltiplos da água do reservatório durante a fase de operação, quanto ao controle da afluência de cargas poluidoras acima do limite de assimilação e autodepuração dos constituintes nitrogenados e fosfatados.



**Figura 5.3.3.7 – Nitrato – Corpo Central
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento**

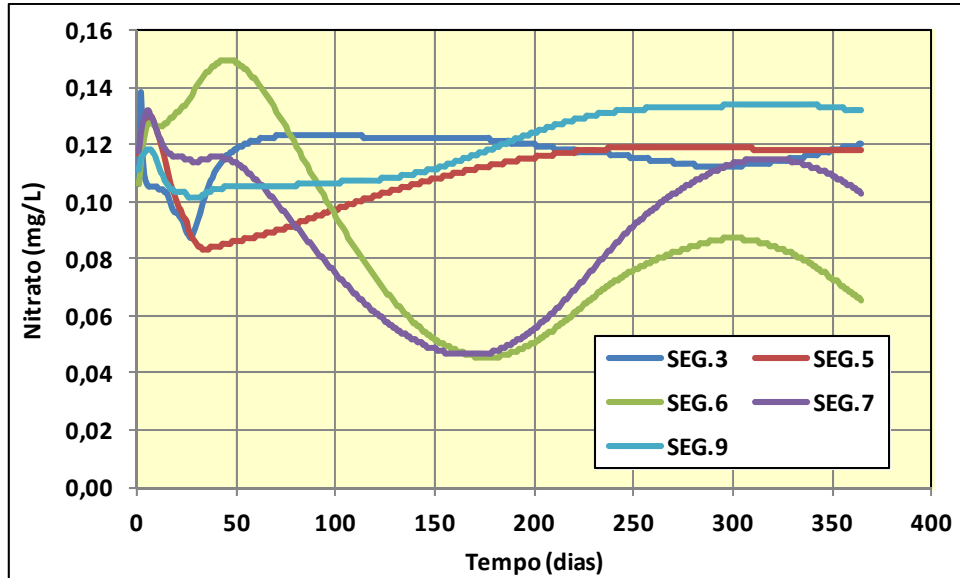


Figura 5.3.3.8 – Nitrito – Braços Tributários
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento

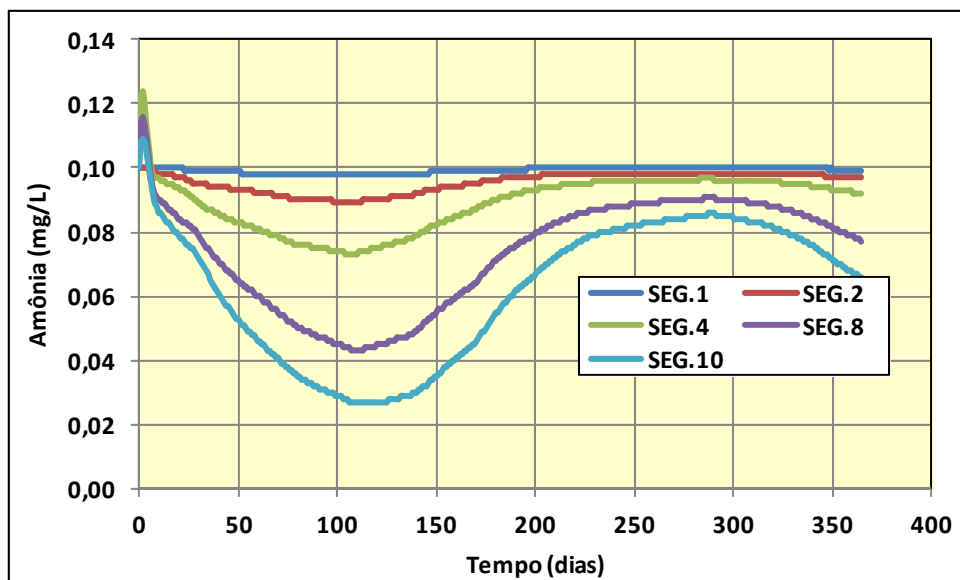
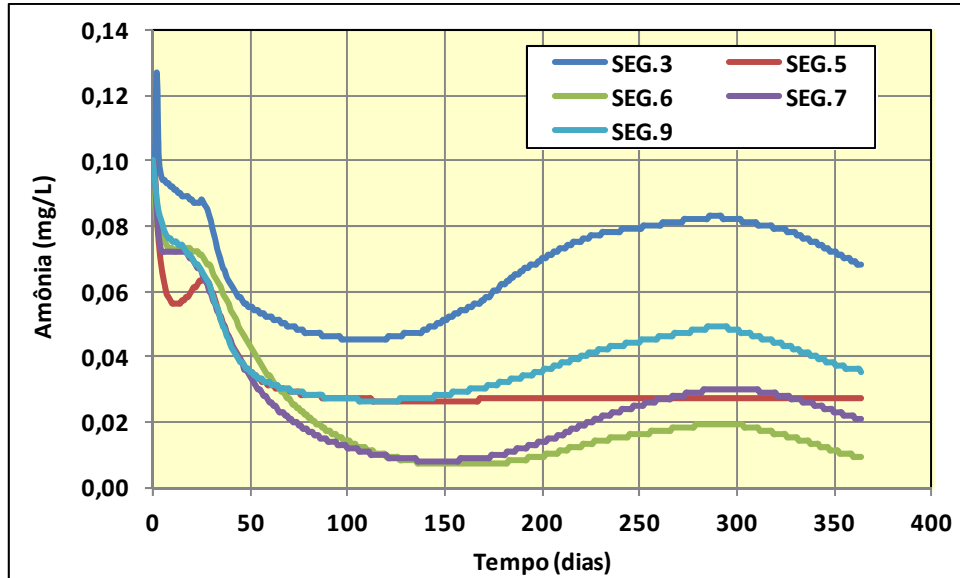
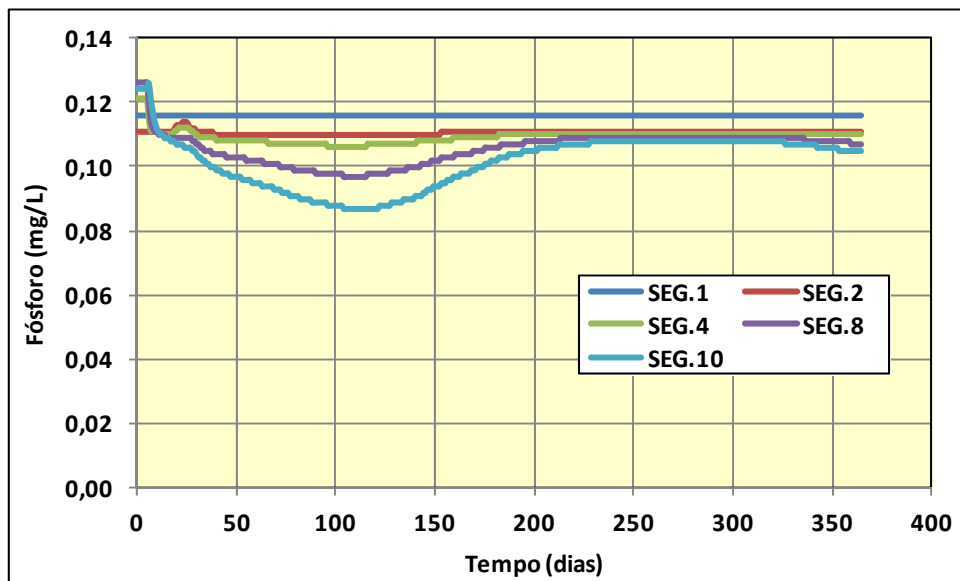


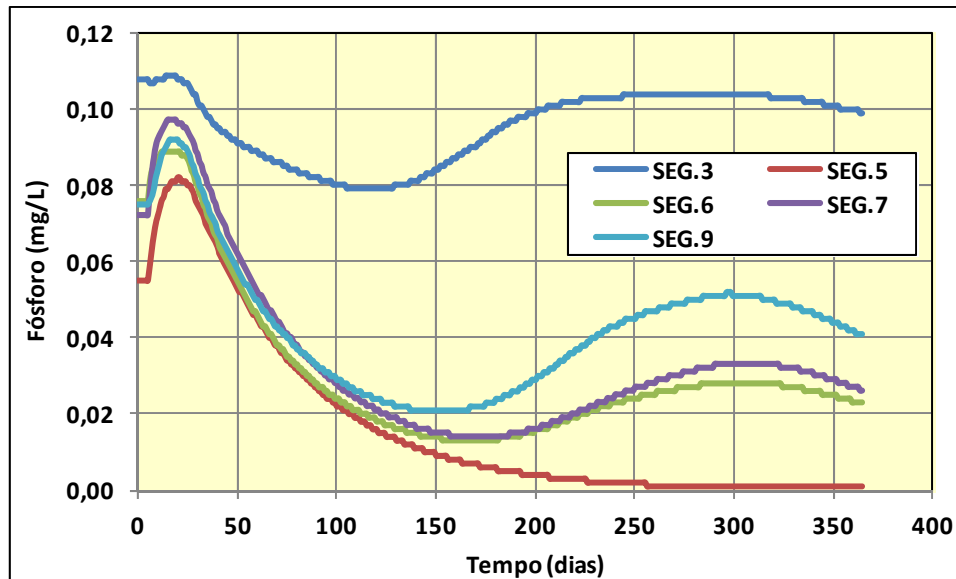
Figura 5.3.3.9 – Amônia – Corpo Central
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento



**Figura 5.3.3.10 – Amônia – Braços Tributários
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.3.11 – Fósforo – Corpo Central
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.3.12 – Fósforo – Braços Tributários
Enchimento em Junho – Condição: Com Desmatamento**

5.3.4 Apresentação do Cenário 04 – Enchimento no Primeiro dia do Mês de Setembro

- **Sem Desmatamento do Reservatório**

Neste cenário, o comportamento da qualidade da água é analisado considerando-se a inundação da biomassa natural residente na área do lago a ser formado e cujos resultados são utilizados como referência para o cenário com desmatamento.

Nas Figuras 5.3.4.1 e 5.3.4.2 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido para cada segmento considerado na modelagem.

Verificam-se condições mais satisfatórias de qualidade da água nos segmentos que compõem o corpo central do reservatório onde a circulação da água ocorre de forma preferencial.

Maior concentração do oxigênio dissolvido é verificada no segmento 01 situados mais a montante onde são verificados com índices mínimos próximos de 5,5 mg/L, observando uma tendência abrupta de redução das concentrações a medida que adentra para o interior do reservatório, com índices mínimos de oxigênio dissolvido variando entre 2,8 mg/L no segmento 2 a nível de anoxia no segmento 10.

Os compartimentos que compõem os braços laterais do reservatório se revelam em condições mais críticas, apresentando um padrão comum de deplecionamento do oxigênio dissolvido, com níveis de anoxia mantidas por longos períodos de tempo, que chegam a superar 275 dias (segmento 05).

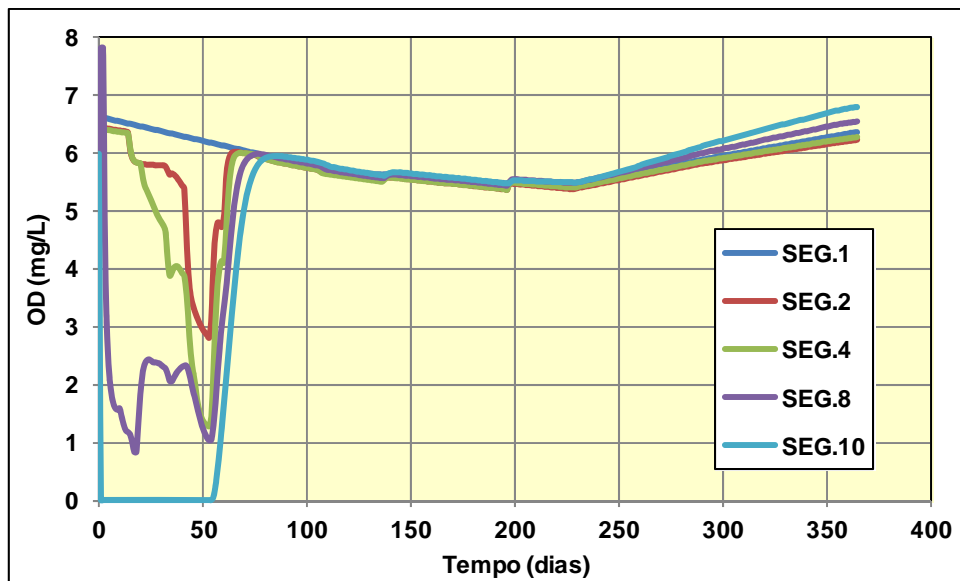


Figura 5.3.4.1 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Setembro – Condição: Sem Desmatamento

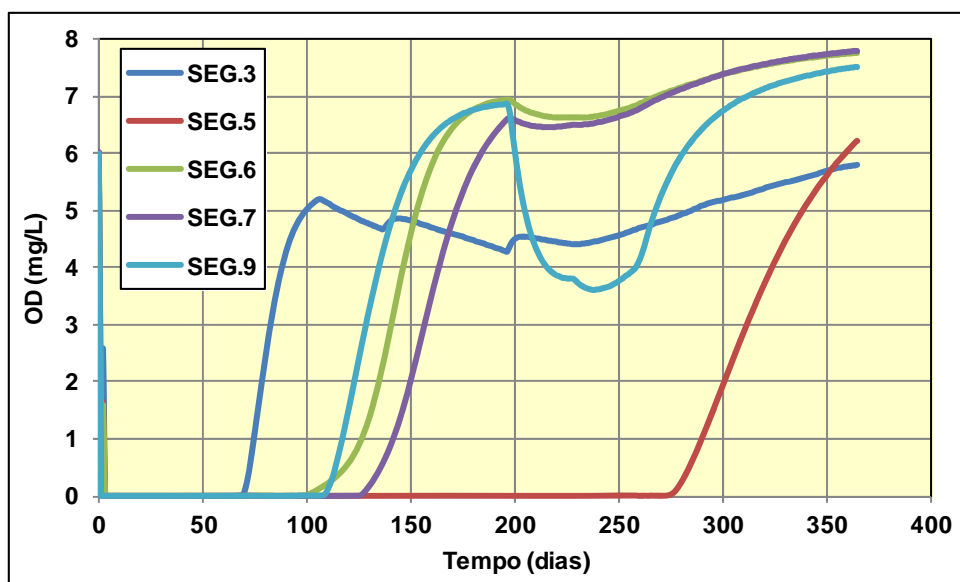


Figura 5.3.4.2 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Setembro - Condição: Sem Desmatamento

- **Com Ações de Desmatamento e Limpeza do Reservatório**

Neste cenário são apresentados os resultados da simulação, considerando a realização de ações preventivas de desmatamento e limpeza da área a ser abrangido pelo futuro lago, visando minimizar as alterações das características da água durante as fases de enchimento e operação do reservatório.

Na simulação deste cenário, considerou-se o plano de desmatamento e limpeza do reservatório, conforme apresentado na Tabela 5.3.4.1, onde são assinalados os segmentos que deverão ser objeto destas ações com a apresentação dos valores percentuais de retirada de fitomassa.

Os maiores percentuais de desmatamento deverão ser desenvolvidos nos compartimentos dos braços tributários, com índices próximos de 95%, o que equivale uma retirada radical da mata residente. No corpo central do reservatório, apenas no segmento 01 esta ação não é necessária em função do escoamento estar restrita a calha do rio natural. Nos segmentos seguintes do corpo central do reservatório, os percentuais de desmatamentos variam entre 37% e 88%, a considerar a inundação das baixadas laterais onde o escoamento se processa de forma mais lenta.

As simulações indicam a necessidade de desenvolvimento de ações de desmatamento e limpeza do reservatório abrangendo uma área de 6.665,94 ha o que perfaz um índice 68,6% da área ocupada pelas diversas fisionomias vegetais.

Tabela 5.3.4.1 – Plano de Desmatamento do Reservatório – Enchimento em Setembro

Segmento	Área ocupada pelas Fisionomias Vegetais (ha)	Área a Ser Desmatada (ha)	Desmatamento (%)
1	706,68	0,00	0,0
2	1422,78	528,46	37,1
3	70,21	66,68	95,0
4	2524,12	2223,63	88,1
5	146,12	138,73	94,9
6	422,64	401,24	94,9
7	359,50	341,82	95,1
8	1685,45	976,27	57,9
9	192,90	183,30	95,0
10	2181,26	1805,80	82,8
Reservatório	9711,66	6665,94	68,6

Nas Figuras 5.3.4.3 e 5.3.4.4 são apresentados de forma gráfica a evolução temporal do oxigênio dissolvido, que integram respectivamente os grupos de segmentos que compõem o corpo central do reservatório e os grupos de segmentos dos braços tributários.

Nos compartimentos do corpo central do reservatório foi atingida a meta de condição mínima do oxigênio dissolvido de 4 mg/L.

Nos braços tributários, apenas o segmento 06, foi possível manter a concentração mínima almejada pela simulação. Nos demais compartimentos dos braços tributários os valores das concentrações do oxigênio dissolvido variaram entre 0,9 mg/L no segmento 03 e 2,6 mg/L no segmento 07, sem atingir níveis de anoxia. Considera-se que nem toda a matéria orgânica presente na área do reservatório é removida a considerar as parcelas do carbono integrado ao solo superficial e parte da serrapilheira.

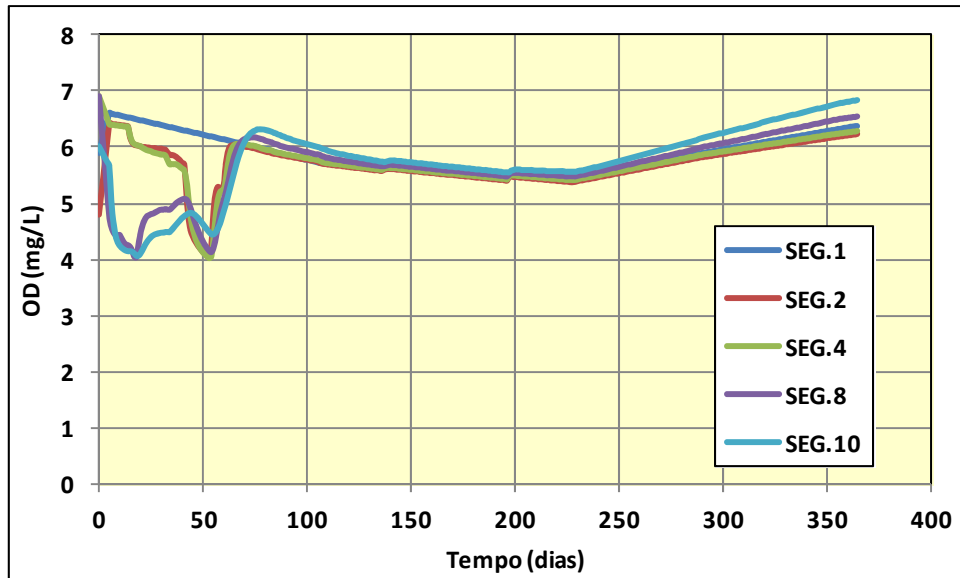
Em termos percentuais, a meta de manutenção das concentrações mínimas do oxigênio dissolvido de 4 mg/L foi atingida em 92% da área coberta pelo reservatório.

No corpo central do reservatório, estima-se uma recuperação das concentrações do oxigênio dissolvido, em nível de 5 mg/L, em um tempo aproximado de 60 dias. Para os braços tributários, as concentrações mínimas normalizadas pela Resolução CONAMA deverá ocorrer em um tempo aproximado de 80 dias. No entanto, observa-se no segmento 03, quedas nas concentrações do oxigênio dissolvido a partir do mês de novembro, caindo progressivamente até o mês de março onde são encontradas concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg/L. Este comportamento está relacionado as baixas concentrações do oxigênio dissolvido aportadas neste segmento que atinge níveis próximos de 4 mg/L no mês de março.

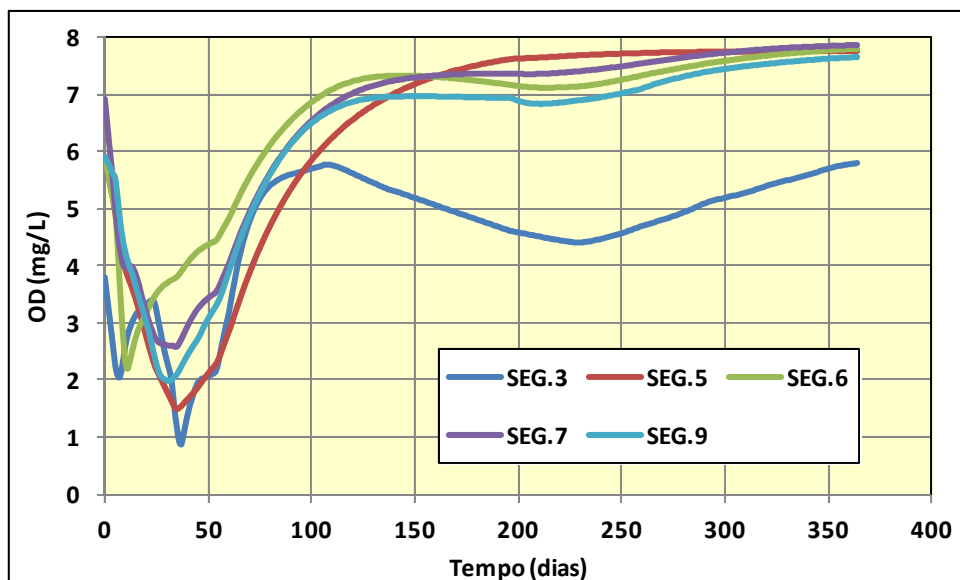
Nas Figuras 5.3.4.5 e 5.3.4.6 são apresentados os respectivos gráficos retratando a evolução temporal da DBO – demanda bioquímica do oxigênio

No corpo central verifica-se concentração máxima de DBO próximas de 6,1 mg/L no segmento 10, sendo a única extrapolação quase pontual do máximo normalizado pela Resolução CONAMA 357 para enquadramento de rios em classe 2.

Nos compartimentos que integram os braços tributários, as extrapolações do máximo permitido pelo CONAMA 357 foram verificadas no segmento 05 (6,3 mg/L); segmento 06 (5,1 mg/L) e segmento 09 (5,3 mg/L).



**Figura 5.3.4.3 – Oxigênio Dissolvido – Corpo Central
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento**



**Figura 5.3.4.4 – Oxigênio Dissolvido – Braços Tributários
Enchimento em Setembro - Condição: Com Desmatamento**

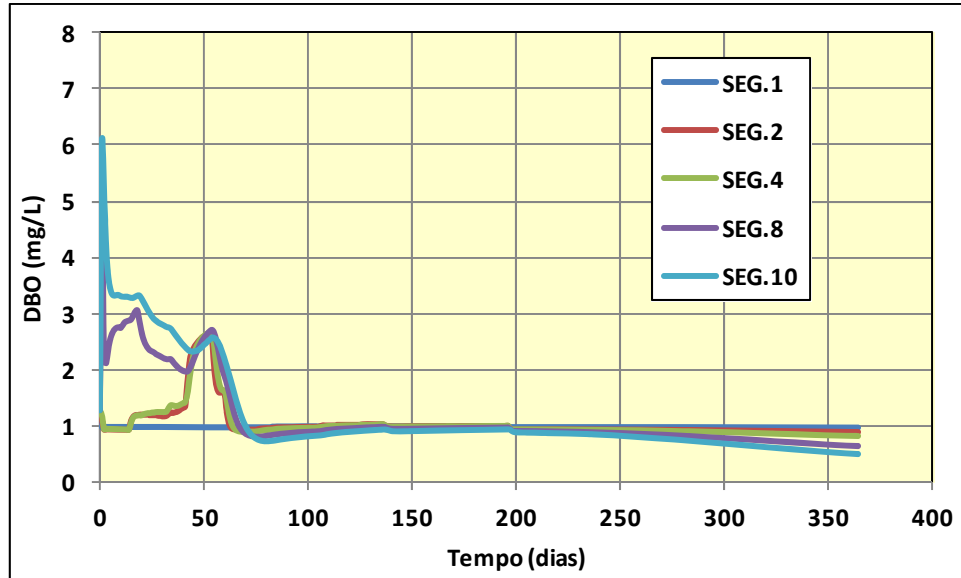


Figura 5.3.4.5 – DBO – Corpo Central
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento

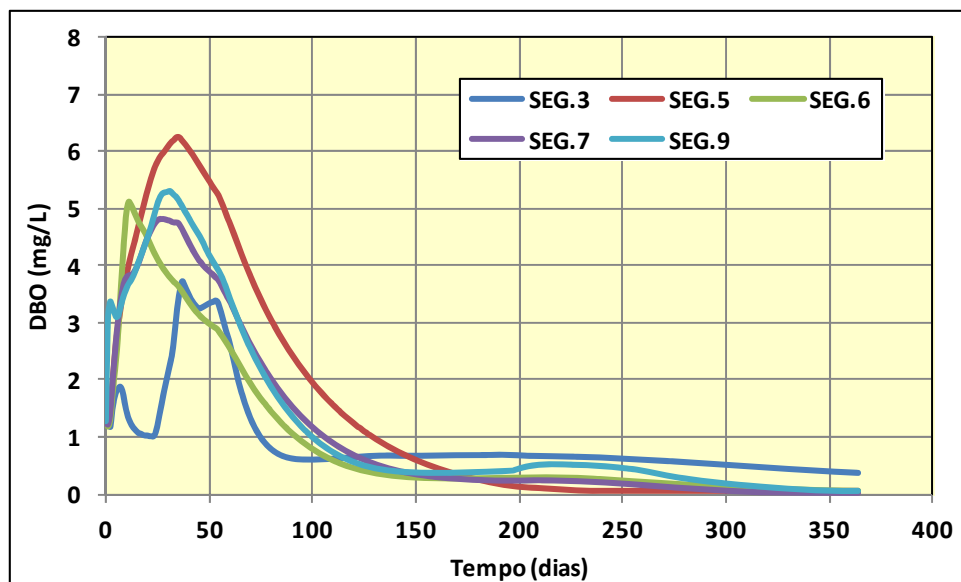


Figura 5.3.4.6 – DBO – Braços Tributários
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento

Nas Figuras 5.3.4.7 a 5.3.4.12 são apresentados a evolução temporal dos nutrientes nitrato, amônia e fósforo.

No corpo central do reservatório, as concentrações de nitrato variaram entre 0,10 e 0,21 mg/L e nos braços tributários entre 0,03 e 0,19 mg/L, abaixo do limite máximo de 10 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA 357 para enquadramento de rio em classe 2.

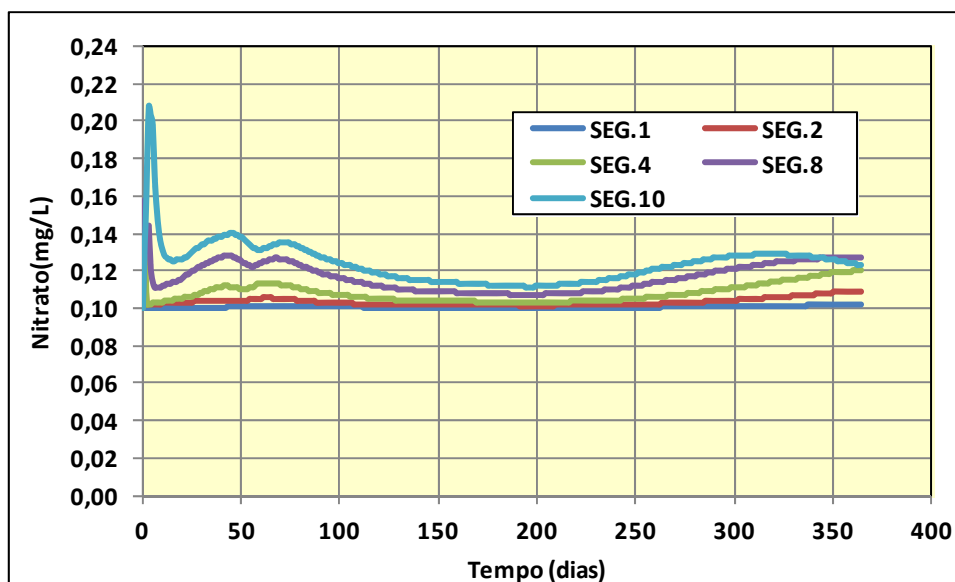
Mesma condição é observada para as concentrações de amônia com índices máximos atingidos de 0,16 mg/L, também atendendo a Resolução CONAMA 357, que estabelece para pH da água < 7,5 uma concentração máxima de amônia de 3,7mg/L para enquadramento de rio em classe 2.

No corpo central do reservatório, os resultados da modelagem matemática apuram uma concentração máxima de fósforo próxima de 0,12 mg/L no compartimento mais a montante, com tendência de redução das concentrações a medida que se dirige para jusante. As maiores reduções

das concentrações de fósforo são verificadas durante o período seco, com índices mínimos verificados de 0,090 mg/L no segmento 10. Nestas condições são atendidas parcialmente o que determina a Resolução do CONAMA 357 para enquadramento de rios classe 2.

Os braços tributários, que apresentam características de ambiente lântico, as concentrações encontradas variaram de 0,160 mg/L durante a fase de incorporação da fitomassa remanescente, estabilizando-se em patamares variando entre 0,02 e 0,10 mg/L, o que configura também um atendimento parcial preconizado pela Resolução CONAMA que especifica o valor máximo permitido de 0,030 mg/L para rios classe 2.

As condições mais restritivas para o ambiente lântico vêm de encontro da necessidade de se considerar índice mais elevado de desmatamento dos compartimentos que compõem os braços do reservatório e no controle dos usos múltiplos da água do reservatório durante a fase de operação, quanto ao controle da afluência de cargas poluidoras acima do limite de assimilação e autodepuração dos constituintes nitrogenados e fosfatados.



**Figura 5.3.4.7 – Nitrato – Corpo Central
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento**

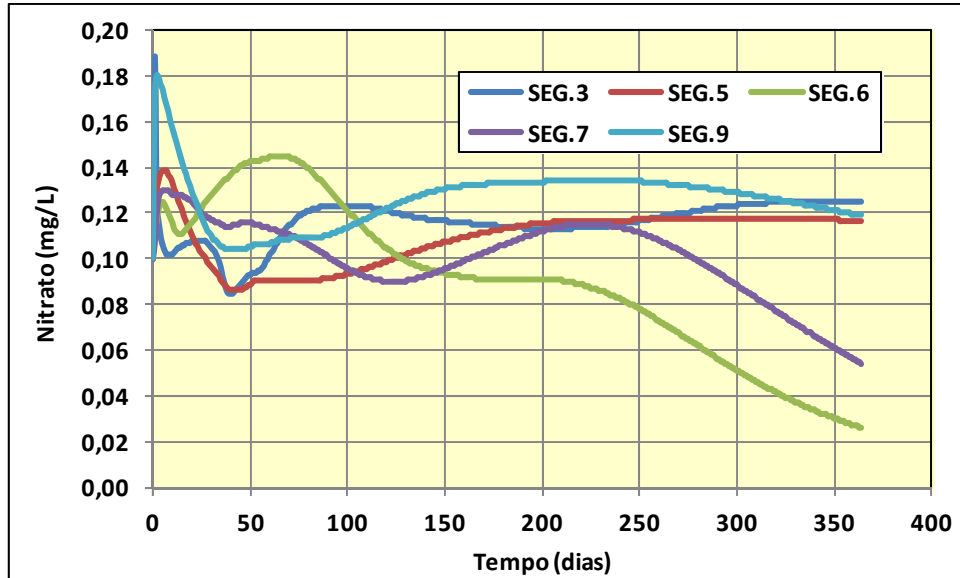


Figura 5.3.4.8 – Nitrato – Braços Tributários
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento

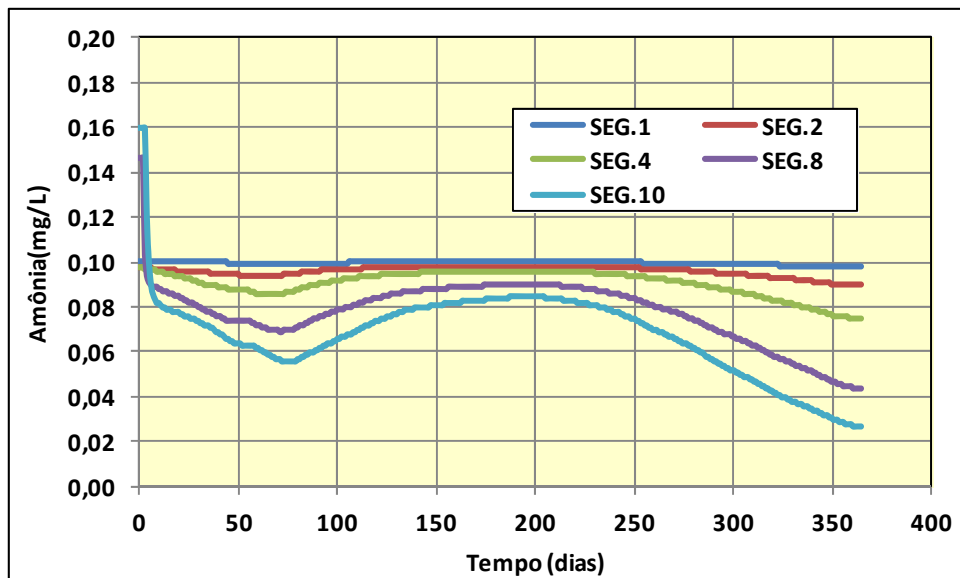


Figura 5.3.4.9 – Amônia – Corpo Central
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento

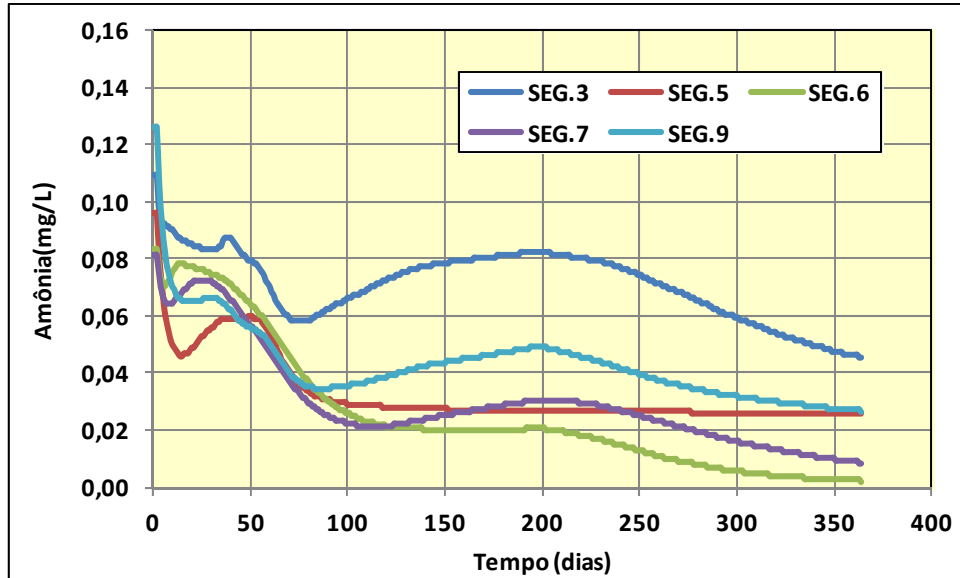


Figura 5.3.4.10 – Amônia – Braços Tributários
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento

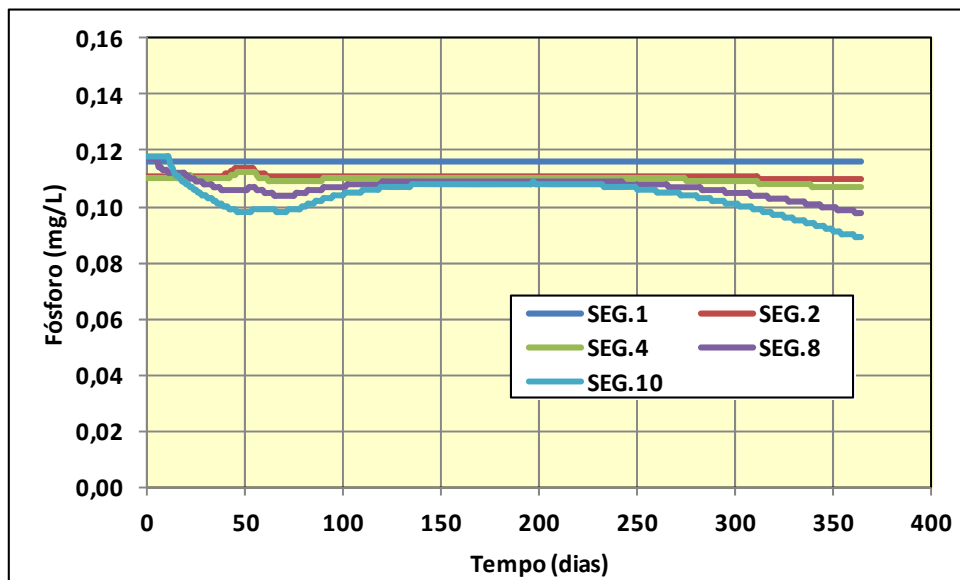


Figura 5.3.4.11 – Fósforo – Corpo Central
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento

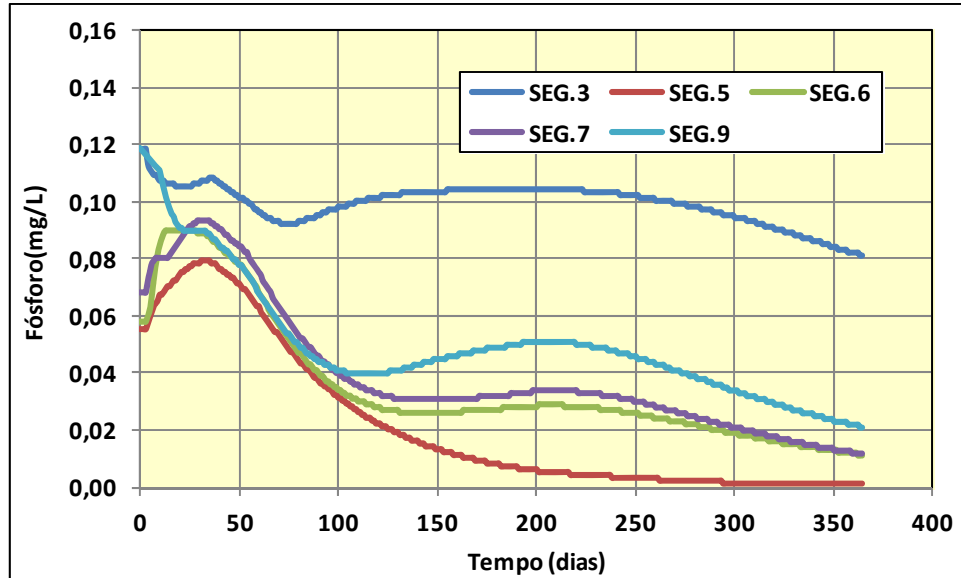


Figura 5.3.4.12 – Fósforo – Braços Tributários
Enchimento em Setembro – Condição: Com Desmatamento

5.4 Análise do Perfil de Profundidades

Neste item são apresentados resultados de saídas gráficas geradas pelo modelo CE-QUAL-W2, onde são aferidas nas direções longitudinal do escoamento e vertical (estratificado no perfil de profundidades), representações espaciais bidimensionais da concentração do oxigênio dissolvido.

Como exemplo, foram adotados os resultados do Cenário 01 com enchimento previsto para ocorrer no mês de dezembro, procurando retratar uma condição pontual prevista para ocorrer depois de decorrido um tempo aproximado de 9 meses, na janela hidrológica da seca e reservatório operando no nível máximo normal de 80,0 m.

Ressalta-se a diferença na apresentação dos resultados das simulações entre os dois modelos matemáticos. Enquanto no modelo WASP é representada uma concentração média no perfil de profundidade, no modelo CE-QUAL-W2, os resultados retratam, verticalmente, as variações das concentrações, registrando maior concentração do oxigênio dissolvido na região aerada da superfície da água e gradiente de queda deste índice à medida que se dirige para o fundo do reservatório.

Nestas condições, a apresentação dos resultados procurou aferir o melhor das duas modelagens, a considerar a melhor capacidade de representar as condições de incorporação e biodegradação da fitomassa residente na área do reservatório que ocorre durante a fase do enchimento do reservatório retratada pelo modelo WASP.

Na Figura 5.4.1 é apresentado o resultado obtido para o oxigênio dissolvido no compartimento do corpo central do reservatório, onde estão integrados os segmentos 01, 02 e 04 situado na região da planície fluvial.

Neste compartimento, observa-se com um padrão decrescente das concentrações do oxigênio dissolvido à medida que adentra para o interior do reservatório e uma estratificação pouco acentuada dos níveis de oxigênio dissolvido, com mínimas próximas de 4,5 mg/L nas regiões mais profundas deste compartimento. Esse padrão decorre da interação das trocas de oxigênio entre a coluna d'água e atmosfera e da interação da dinâmica entre nutrientes, fitoplâncton e oxigênio.

Na Figura 5.4.2 são apresentados os resultados integrando os segmentos 08 e 10 representativos dos compartimentos do corpo central e integrantes da partição de corredeiras, onde se observa um padrão estratificado das concentrações do oxigênio dissolvido, com máximas de 7 mg/L na superfície

e uma camada restrita acompanhando do fundo reservatório, onde são encontrados índices próximos de 1 mg/L.

Nas Figuras 5.4.3 a 5.4.7 retratam os resultados obtidos para os braços do reservatório respectivamente para os segmentos 03; 05; 06; 07 e 09, onde se observa uma característica comum de comportamento, com concentrações de oxigênio dissolvido próximo de 7mg/L na superfície e próximo de 1mg/L nas partições mais profundas do reservatório.

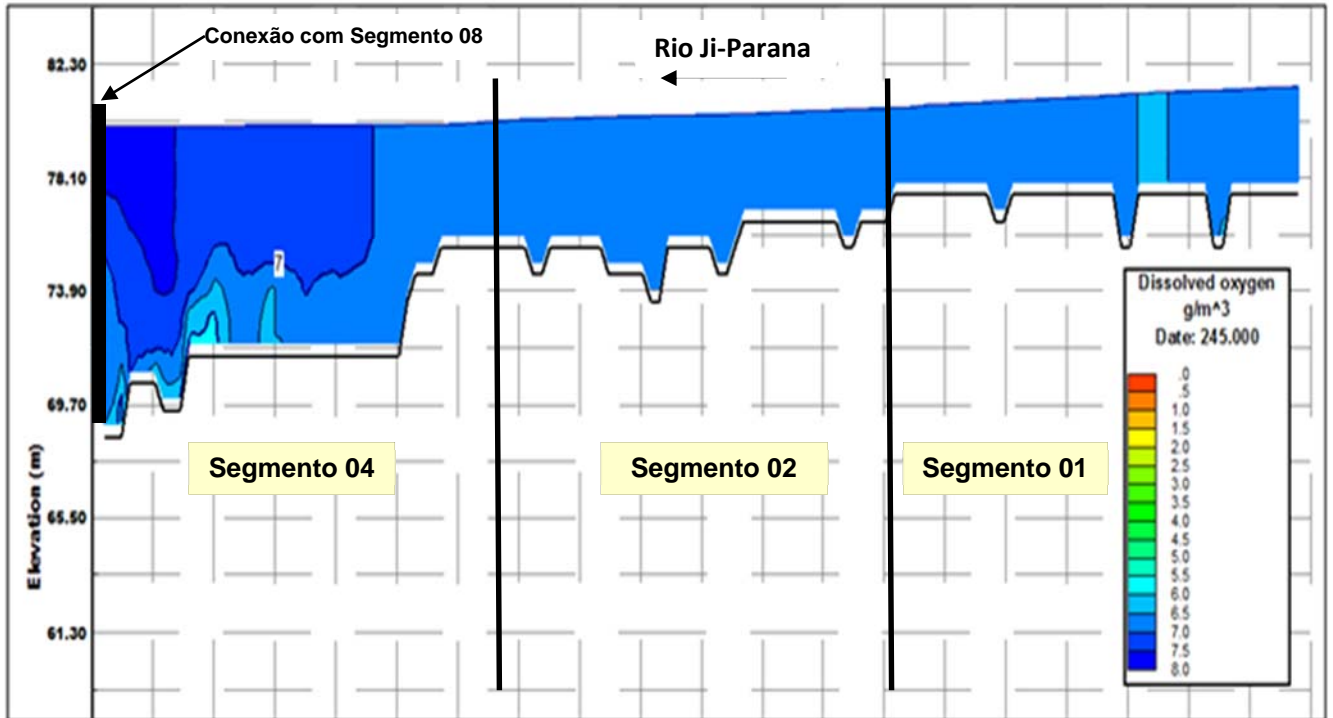


Figura 5.4.1 – Corpo Central do reservatório - Integração dos Segmentos 01; 02 e 04 - Perfil do Oxigênio Dissolvido.

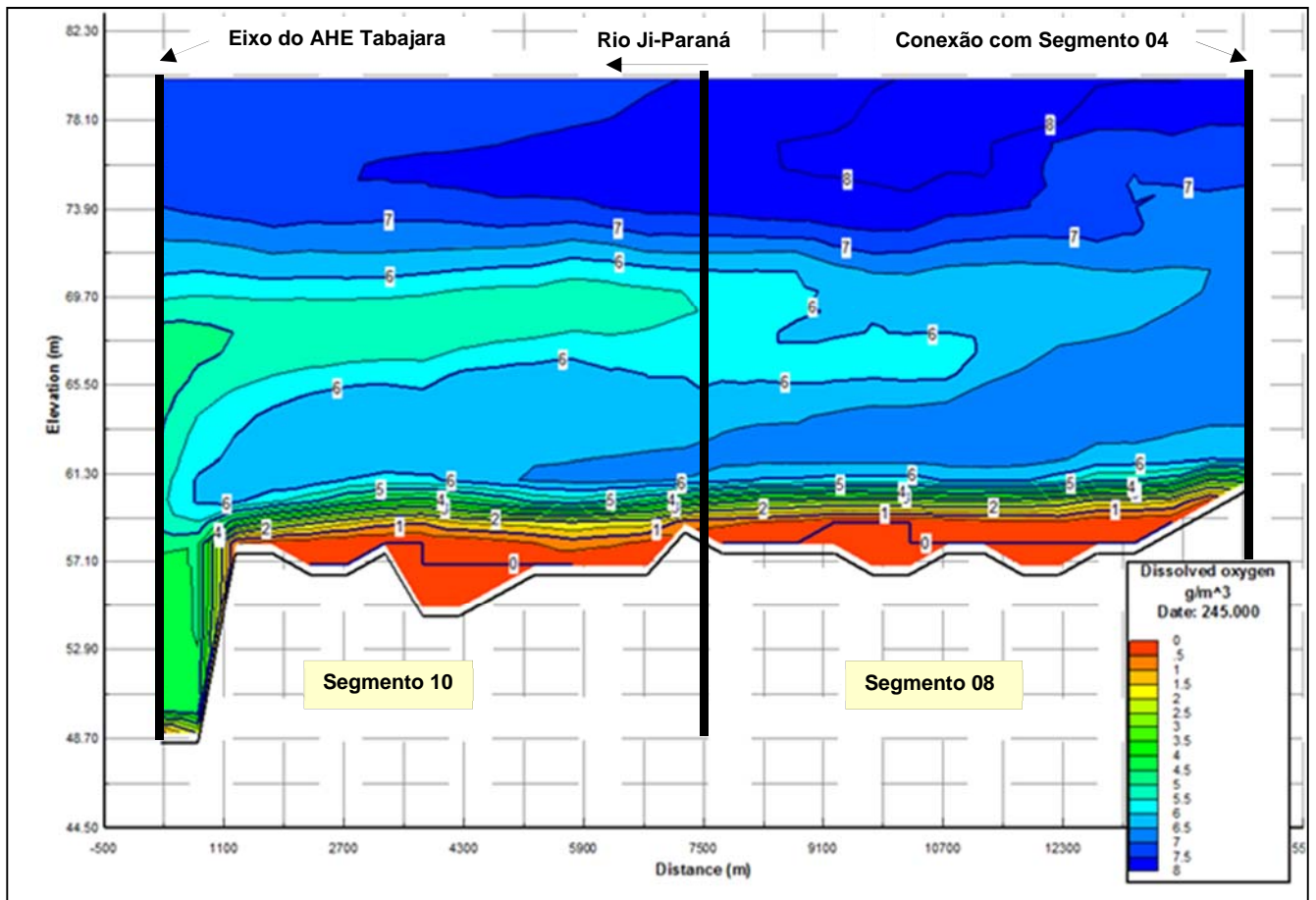


Figura 5.4.2 – Corpo Central do reservatório - Integração dos Segmentos 08 e 10 - Perfil do Oxigênio Dissolvido

A comparação dos resultados apresentados nas Figuras 5.4.1 e 5.4.2 mostra o decréscimo das concentrações de oxigênio dissolvido no sentido de jusante (segmento 4 para segmentos 8 e 10) devido à intensificação do perfil clinogrado de oxigênio dissolvido. Por se tratarem de ambientes mais profundos, os segmentos de jusante tendem a apresentar condições de reaeração menos favorecidas.

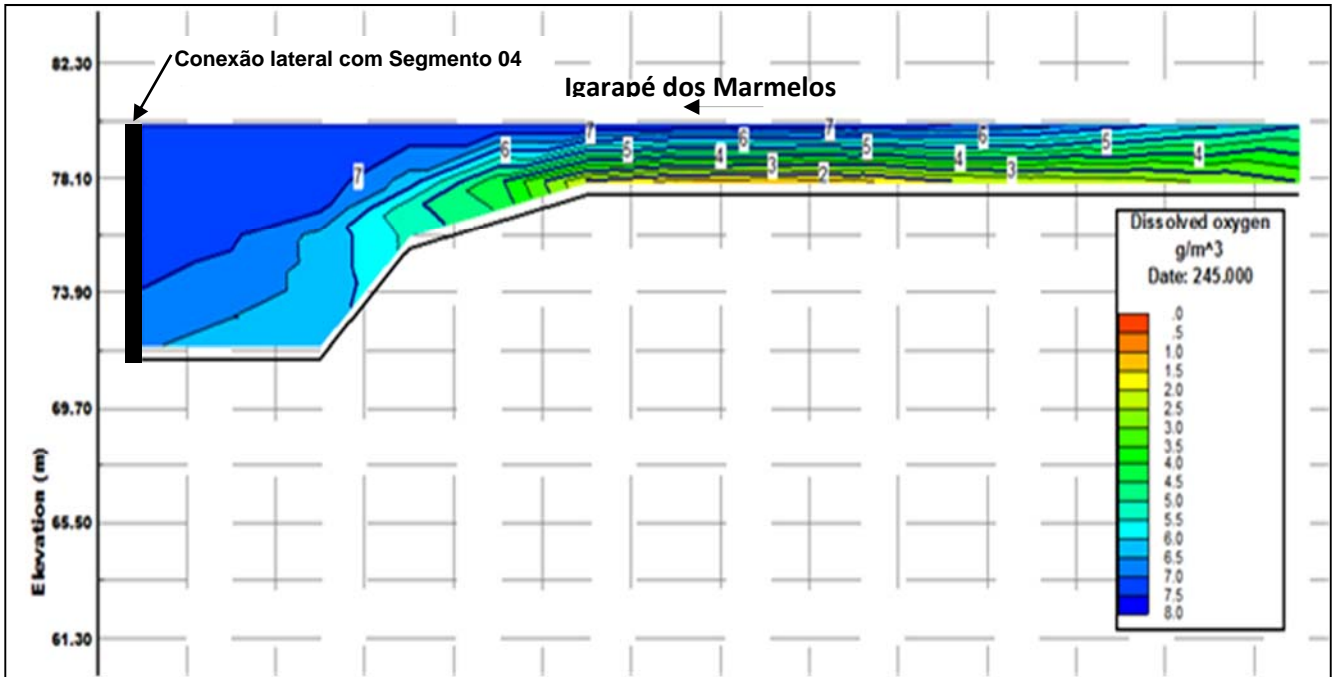


Figura 5.4.3 – Segmento 03 - Perfil Estratificado do Oxigênio Dissolvido Igarapé dos Marmelos

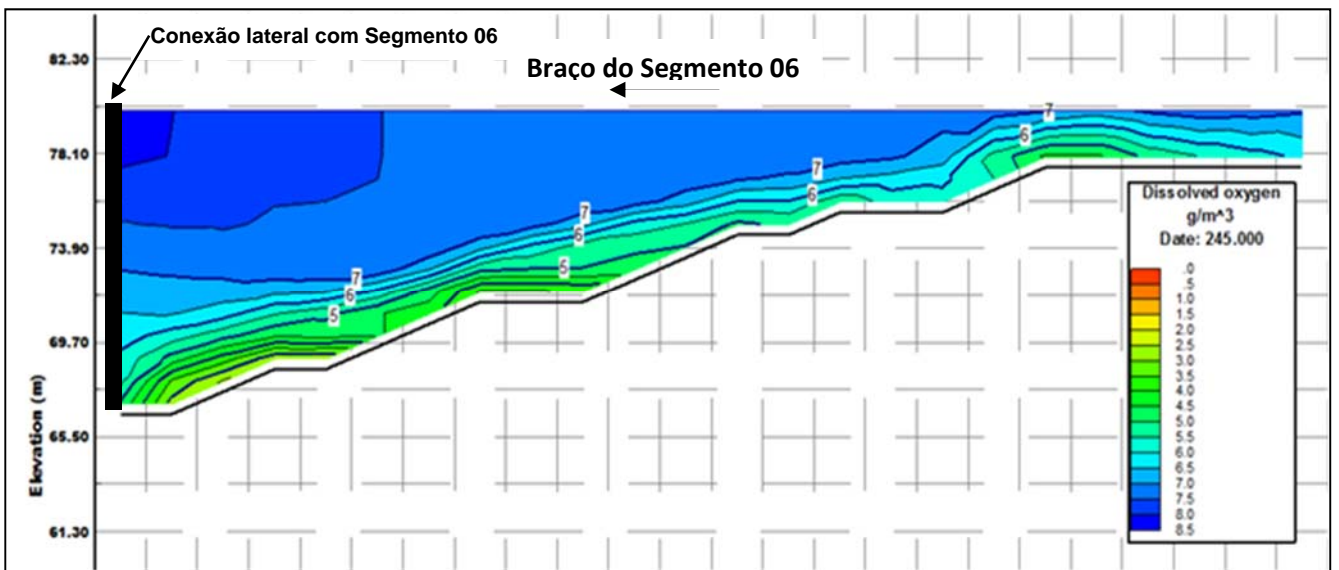


Figura 5.4.4– Segmento 05 - Perfil Estratificado do Oxigênio Dissolvido

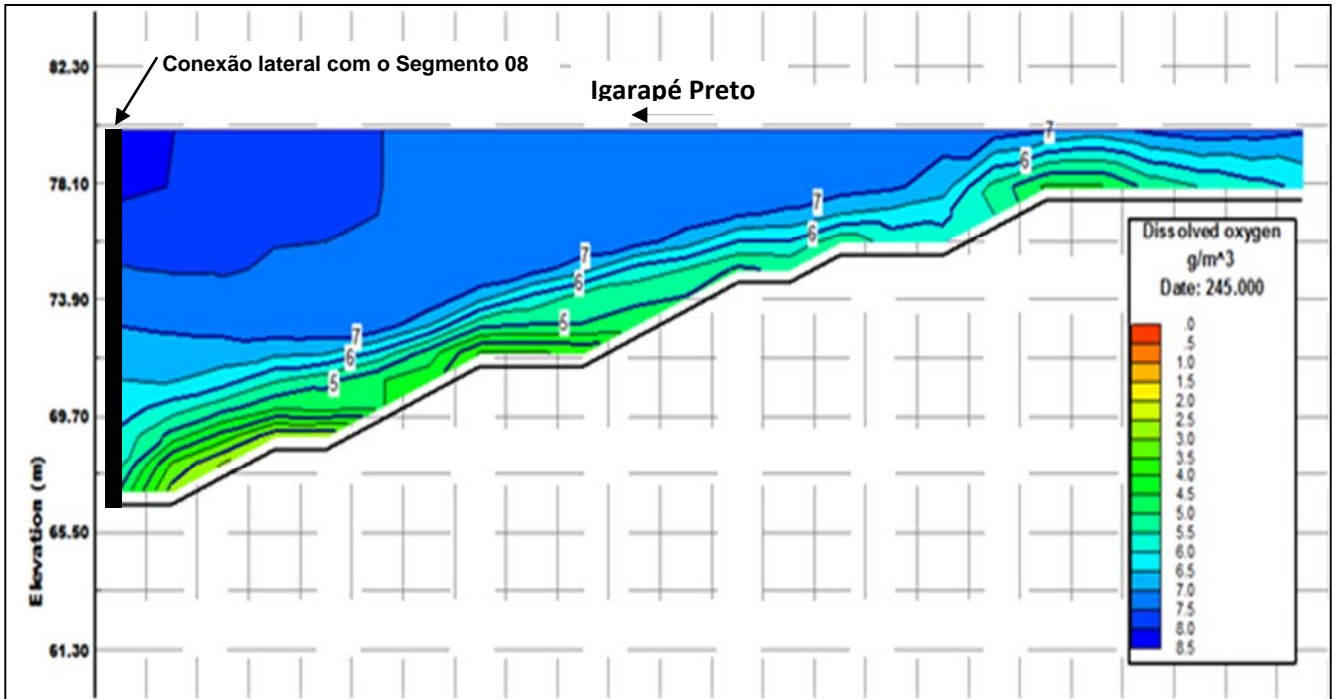


Figura 5.4.5 – Segmento 06 - Perfil Estratificado do Oxigênio Dissolvido Igarapé Preto

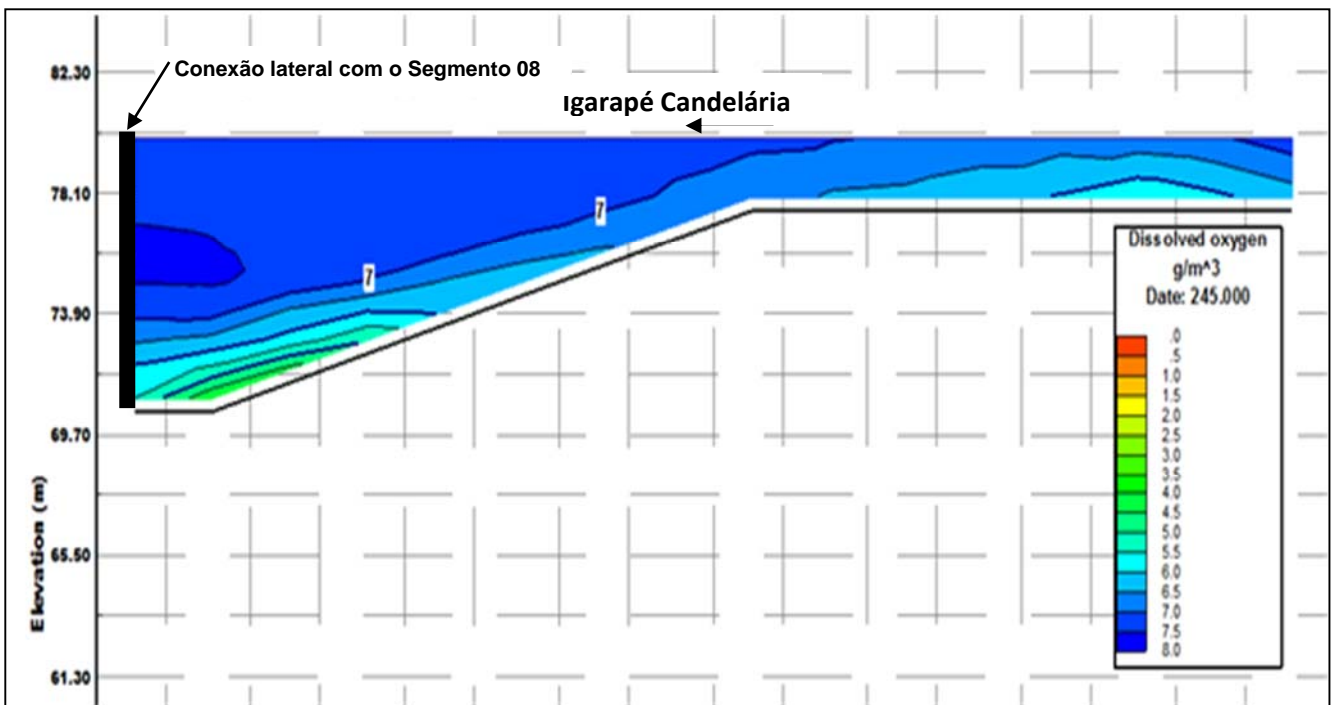


Figura 5.4.6 – Segmento 07 - Perfil Estratificado do Oxigênio Dissolvido Igarapé Candelária

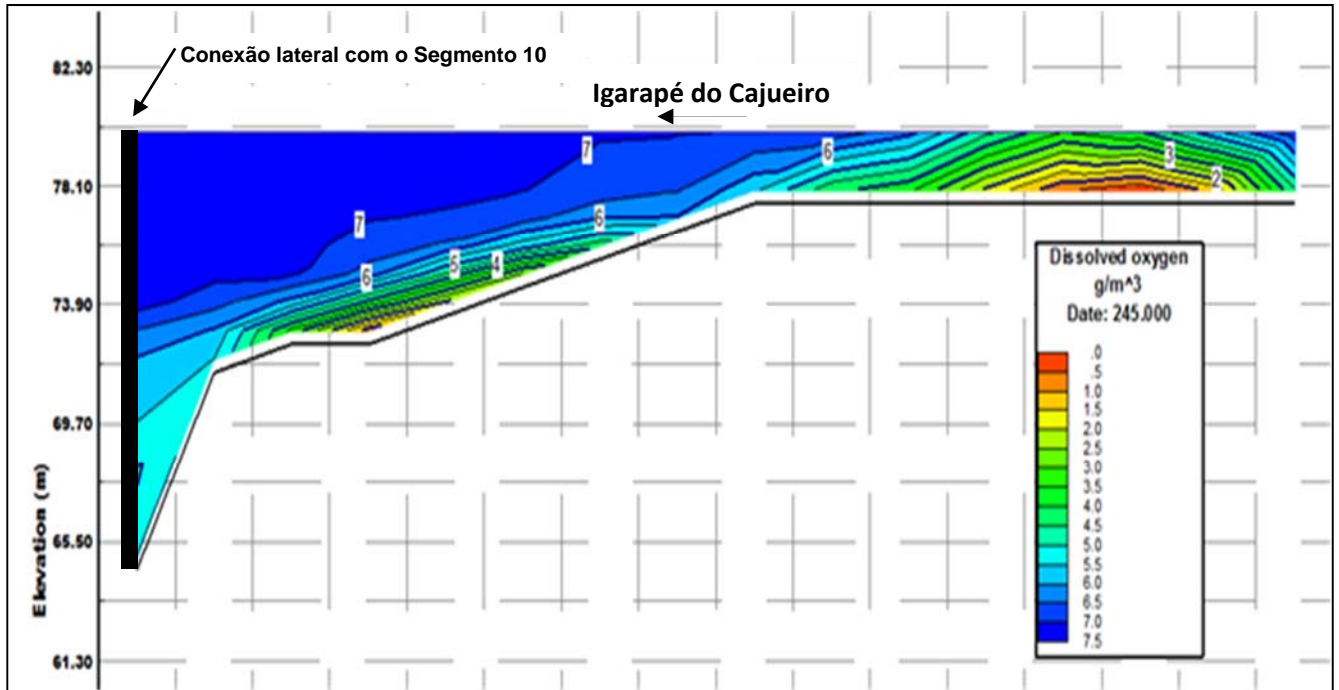


Figura 5.4.7 – Segmento 09 - Perfil Estratificado do Oxigênio Dissolvido Igarapé do Cajueiro

5.5 Modelo de Estratificação Térmica

As simulações contemplaram o corpo central do reservatório e 5 braços tributários, obedecendo a compartimentação representada na Figura 4.2.1.

A modelagem matemática procurou representar a condição de sazonalidade de um ano hidrológico médio, caracterizado pelas vazões médias mensais de longo termo definido para o local do eixo.

A estratificação térmica foi simulada considerando-se as seguintes partições do corpo central e braços tributários do reservatório:

- Corpo central, considerando-se a integração dos segmentos 01; 02; 04; 08 e 10, com resultados do perfil de temperatura obtido junto ao eixo do empreendimento e
- Principais braços tributários, respectivamente os segmentos 03; 05; 06; 07 e 09 com perfil de temperatura obtido próximo a junção com o corpo central do reservatório, onde a profundidade é maior. Nestas condições, foi considerada a seção mais a jusante de cada compartimentos dos braços do reservatório.

As simulações procuraram retratar o padrão sazonal mensal de uma condição hidrológica média da fase operativa do reservatório com condições hidrobiológicas estabilizadas e nível d'água estabelecida na cota 80 m. Nestas condições, adotou-se, como referência, o padrão de vazão média mensal definida para o local do eixo do AHE Tabajara e vazão irradiada para os braços tributários compilada de forma proporcional as áreas das respectivas bacias hidrográficas contribuintes.

Definição dos Dados de Entrada

As informações de natureza climática compreendem os seguintes parâmetros: temperatura média do ar; radiação solar média, umidade relativa do ar; velocidade do vento e nebulosidade, conforme descrito na Tabela 5.5.1.

Dentre estes parâmetros, a radiação solar constitui o parâmetro mais importante em termos de fonte de calor, conforme definido na base de dados, as informações de natureza climática foram obtidas da estação meteorológica de Cidade Vera operada pelo INMET e do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB.

Tabela 5.5.1 - Registros Médios Mensais dos Parâmetros Climáticos

Mês	Temperatura do ar (°C)	Radiação Média (kcal/m².dia)	Umidade relativa. do ar (%)	Velocidade do vento (m/s)	Nebulosidade (0 – 10)
Jan	26,0	3887	89	0,7	7
Fev	25,9	3887	88	0,7	7
Mar	26,2	4007	84	0,6	7
Abr	26,5	3809	81	0,6	6
Mai	26,3	3844	86	0,6	5
Jun	26,4	3706	88	0,6	3
Jul	26,4	4600	80	0,6	2
Ago	27,4	4626	82	0,6	2
Set	27,2	4274	84	0,7	4
Out	27,1	4394	86	0,7	5
Nov	26,6	4093	87	0,7	6
Dez	26,1	3869	82	0,6	7

Na Tabela 5.5.2 são apresentados os dados de temperaturas da água consideradas no corpo central do reservatório e nos principais braços tributários, formalizadas com base em dados obtidos das campanhas de monitoramento da qualidade da água.

Os dados de vazões afluentes em cada compartimento do reservatório basearam em dados médios mensais de longo termo geradas para o local do eixo e distribuídas em cada braço do reservatório, conforme valores apresentados na Tabela 4.5.2.

Tabela 5.5.2 - Temperatura da Água

Mês	Corpo Central (m³/s)	Seg_3 (m³/s)	Seg_5 (m³/s)	Seg_6 (m³/s)	Seg_7 (m³/s)	Seg_9 (m³/s)
Jan	27,4	25,9	25,5	25,5	25,9	25,9
Fev	27,2	26,1	25,4	25,4	25,9	25,9
Mar	27,0	26,2	25,3	25,3	25,9	25,9
Abr	27,5	25,9	25,1	25,1	25,8	25,8
Mai	27,9	25,7	24,8	24,8	25,7	25,7
Jun	28,4	25,4	24,6	24,6	25,6	25,6
Jul	28,8	25,1	24,3	24,3	25,5	25,5
Ago	29,4	26,1	25,5	25,5	26,7	26,7
Set	30,0	27,0	26,7	26,7	27,9	27,9

Mês	Corpo Central (m ³ /s)	Seg_3 (m ³ /s)	Seg_5 (m ³ /s)	Seg_6 (m ³ /s)	Seg_7 (m ³ /s)	Seg_9 (m ³ /s)
Out	28,9	26,3	26,2	26,2	26,9	26,9
Nov	27,7	25,6	25,7	25,7	25,8	25,8
Dez	27,5	25,8	25,6	25,6	25,8	25,8

Resultados

Os resultados apresentados retratam uma condição de estabilidade hidrotérmica do reservatório, almejados após a realização de uma sequência de processamentos e resultados das simulações apuradas em passo diário.

- **Corpo Central.** Trecho do corpo central do reservatório, que junto a estrutura do vertedor principal apresenta uma profundidade aproximada de 25 m. O perfil vertical de temperatura foi representada por uma grade composta por 26 pontos espaçadas a cada metro entre as cotas 55 e 80 m.

Verifica-se uma fraca tendência de se estabelecer processo de estratificação térmica no corpo central do reservatório em função da alta circulação da água. Na Figura 5.5.1 é apresentado o perfil de temperatura correspondente a cada mês.

Independente da estratificação térmica, a estratificação química (nesse caso oxiclina) ocorre usualmente em ambientes aquáticos tropicais lênticos (i.e., lagos e reservatórios), pois nesses ambientes, as temperaturas são muito elevadas e promovem aceleração dos processos microbianos (de, por exemplo, 4 vezes em relação aos ambientes temperados), tais como a degradação dos detritos. Assim, as distribuições verticais das concentrações de oxigênio dissolvido são quase sempre do tipo clinogrado positivo, independente do estado trófico do ambiente.

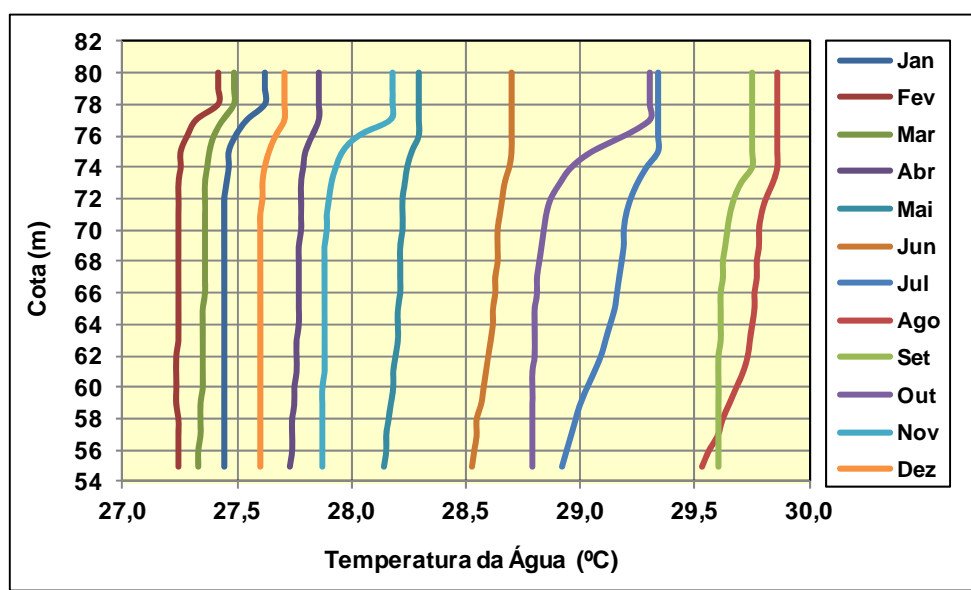


Figura 5.5.1 - Perfil de Temperatura – Corpo Central do Reservatório

- **Segmento 03.** A seção do braço tributário apresenta uma profundidade máxima de 9 metros. O perfil vertical de temperatura foi representado por uma grade composta por 10 pontos espaçados a cada metro entre as cotas 71 e 80 m. Verifica-se uma tendência de manutenção da estratificação térmica deste braço do reservatório, com maior intensidade entre os meses de julho e outubro, onde as vazões afluentes são mais reduzidas.

Na Figura 5.5.2 é apresentado o perfil de temperatura correspondente a cada mês.

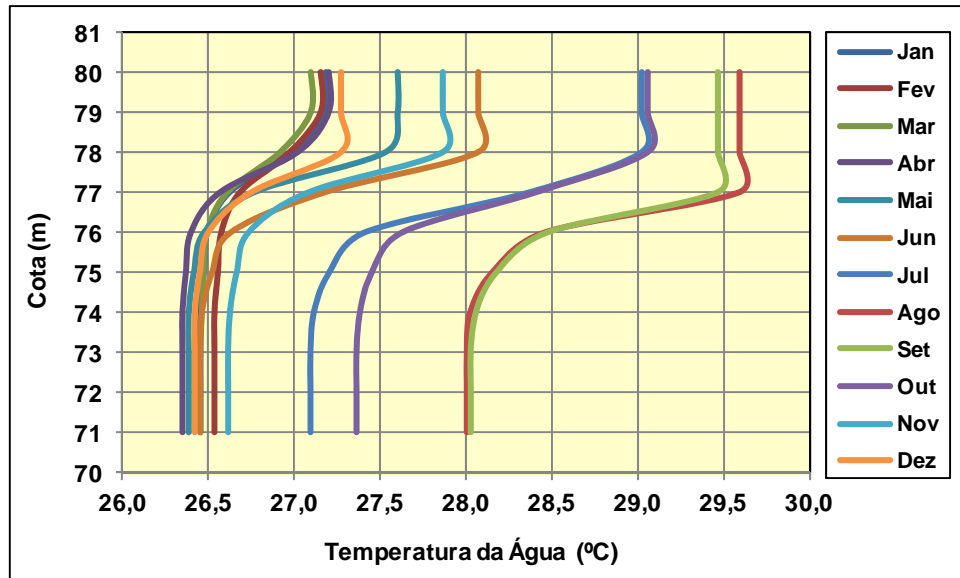


Figura 5.5.2 - Perfil de Temperatura – Segmento 03

- **Segmento 05.** A seção do braço tributário apresenta uma profundidade máxima de 9 metros. O perfil vertical de temperatura foi representado por uma grade composta por 11 pontos espaçados a cada metro entre as cotas 69 e 80 m. Verifica-se uma tendência de manutenção da estratificação térmica deste braço do reservatório, com maior intensidade entre os meses de julho e outubro, onde as vazões afluentes são mais reduzidas.

Na Figura 5.5.3 é apresentado o perfil de temperatura correspondente a cada mês.

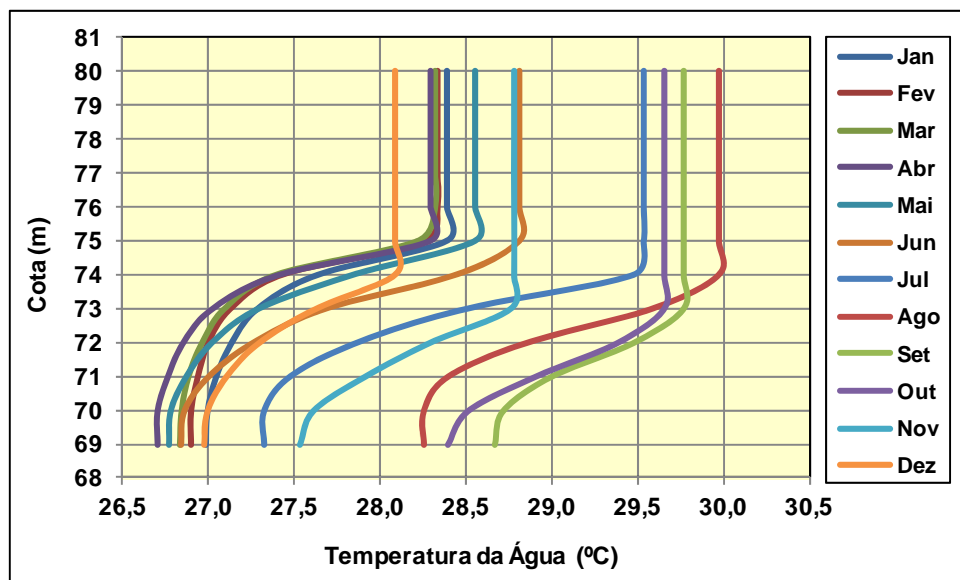


Figura 5.5.3 - Perfil de Temperatura – Segmento 05

- **Segmento 06.** A seção do braço tributário apresenta uma profundidade máxima de 14 metros. O perfil vertical de temperatura foi representado por uma grade composta por 15 pontos espaçados a cada metro entre as cotas 66 e 80 m. Verifica-se uma tendência de manutenção da estratificação térmica deste braço do reservatório, com maior intensidade entre os meses de julho e outubro, onde as vazões afluentes são mais reduzidas.

Na Figura 5.5.4 é apresentado o perfil de temperatura correspondente a cada mês.

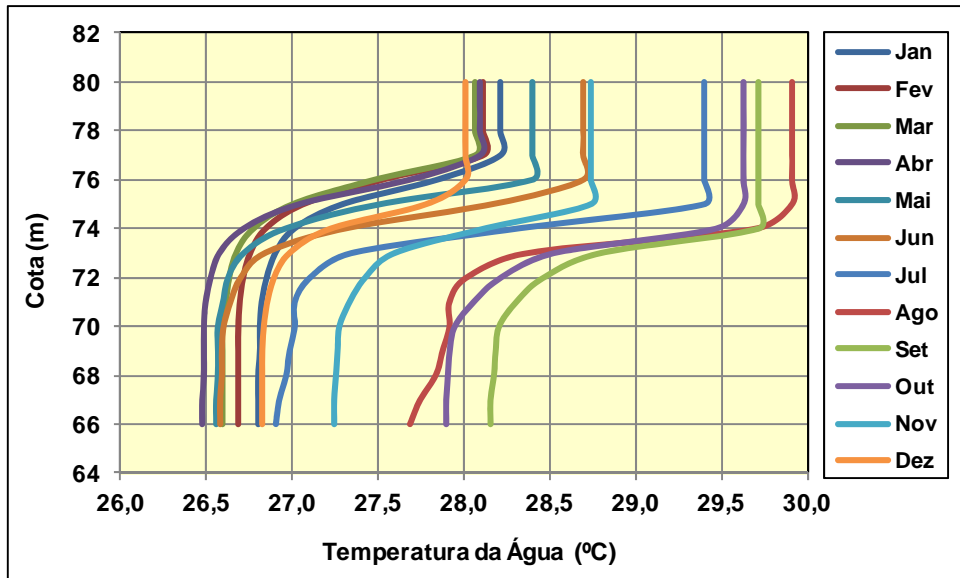


Figura 5.5.4 - Perfil de Temperatura – Segmento 06

- **Segmento 07.** A seção do braço tributário apresenta uma profundidade máxima de 9 metros. O perfil vertical de temperatura foi representado por uma grade composta por 10 pontos espaçados a cada metro entre as cotas 71 e 80 m, onde se verifica uma tendência de manutenção da estratificação térmica ao longo do ano.

Na Figura 5.5.5 é apresentado o perfil de temperatura correspondente a cada mês.

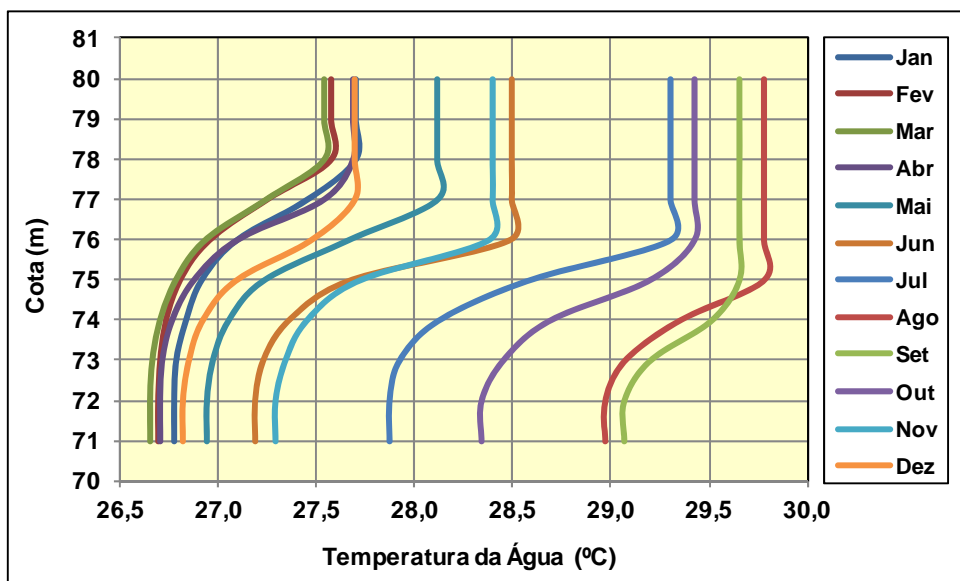


Figura 5.5.5 - Perfil de Temperatura – Segmento 07

- **Segmento 09.** A seção do braço tributário apresenta uma profundidade máxima de 16 metros. O perfil vertical de temperatura foi representado por uma grade composta por 17

pontos espaçados a cada metro entre as cotas 64 e 80 m. Verifica-se uma tendência de manutenção da estratificação térmica deste braço do reservatório, com maior intensidade entre os meses de julho e outubro, onde as vazões afluentes são mais reduzidas.

Na Figura 5.5.6 é apresentado o perfil de temperatura correspondente a cada mês.

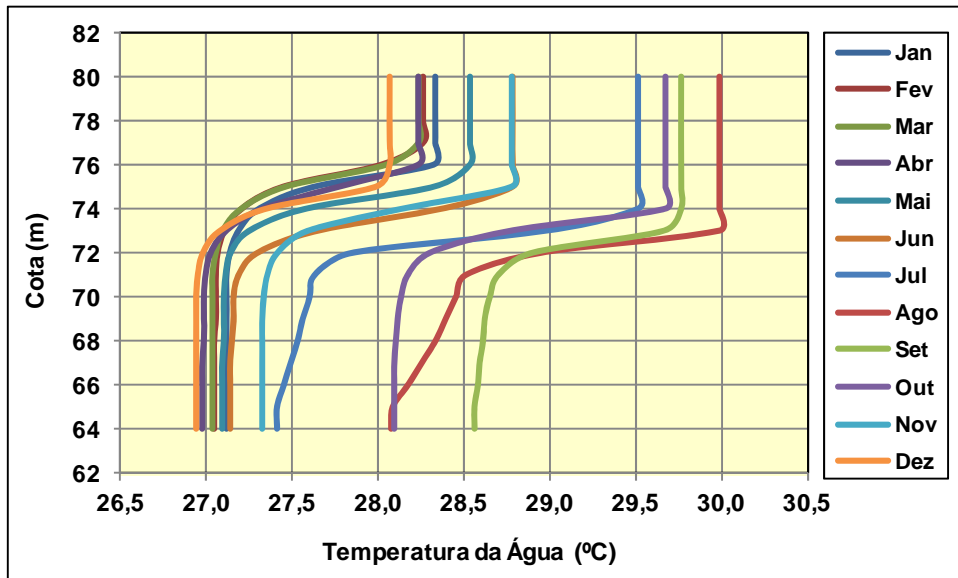


Figura 5.5.6 - Perfil de Temperatura – Segmento 09

5.6 Modelagem de Qualidade da Água a Jusante

Os estudos de modelagem de qualidade da água do trecho do rio Ji-Paraná a jusante do AHE Tabajara baseou-se na aplicação do modelo de simulação CE-QUAL-W2 concebido pela Waterways Experiments Station Corps of Engineers.

O trecho modelado a jusante do AHE Tabajara abrangeu a extensão de 12,5 km do rio Ji-Paraná em cujo percurso não há contribuição de afluentes laterais importantes. Desse modo, o trecho de jusante considerado nas simulações refere-se ao segmento de rio diretamente afetado pelas alterações da qualidade da água devidas a formação do reservatório.

No caso de se considerar contribuições de afluentes laterais, os efeitos da formação do reservatório não são evidenciados com precisão, devido, por exemplo, a diminuição das concentrações dos elementos, por diluição. Quando se seleciona trecho de jusante muito extenso, há também a possibilidade de se prever efeitos deletérios que não são provenientes da formação do reservatório (e.g., inclusão de dados de um tributário lateral poluído). Desse modo, tendo em vista evidenciar com precisão a distribuição longitudinal dos elementos de interesse (exclusivamente em função da formação do reservatório) utiliza-se para as simulações o trecho menos afetado pelos tributários laterais.

As condições de qualidade da água do rio Ji-Paraná a jusante do eixo do AHE Tabajara ficará condicionada as condições límnicas observadas no segmento 10, onde situam as estruturas vertentes e tomada d'água para a casa de força.

Independente do cenário analisado, as concentrações mínimas do oxigênio dissolvido apontados pelas simulações no segmento 10, estimam concentrações próximas a 4 mg/L, verificadas de forma pontual e restrita ao período do enchimento do reservatório.

Considera-se que as concentrações mínimas do oxigênio dissolvido apuradas pela simulação estão próximas de alguns resultados obtidos das amostragens de qualidade da água, principalmente no que se referem as campanhas realizadas no mês de março e em menor incidência nos meses de junho/julho, onde no curso do Ji-Paraná foram apurados diversos episódios com concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg/L e mínima observada de até 4,2 mg/L.

Na Figura 5.6.1 é apresentado o esquema topológico modelado a jusante do barramento, composto por um segmento de rio subdividido em 24 trechos e Figura 5.5.2 é apresentada uma vista da grade lateral representativa do perfil de profundidade. Na Tabela 5.6.1 são resumidos os dados que caracterizam a grade do modelo.

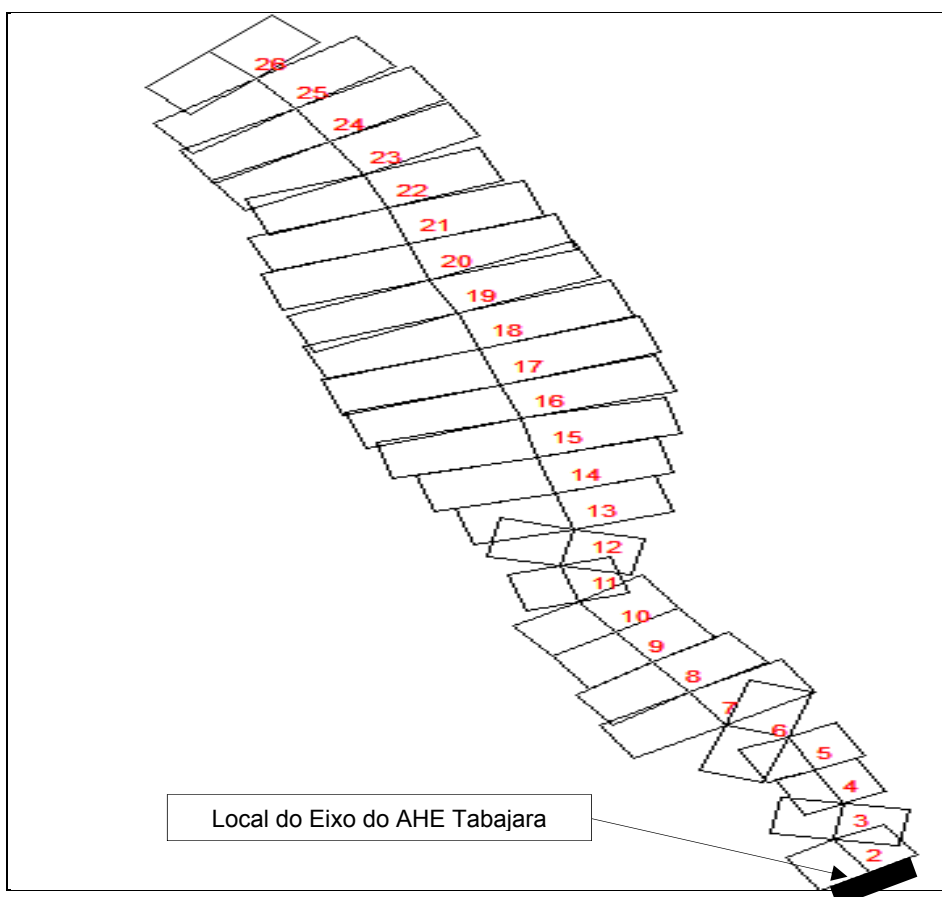


Figura 5.6.1 – Esquema Topológico do Trecho do Rio Ji-Paraná Modelado

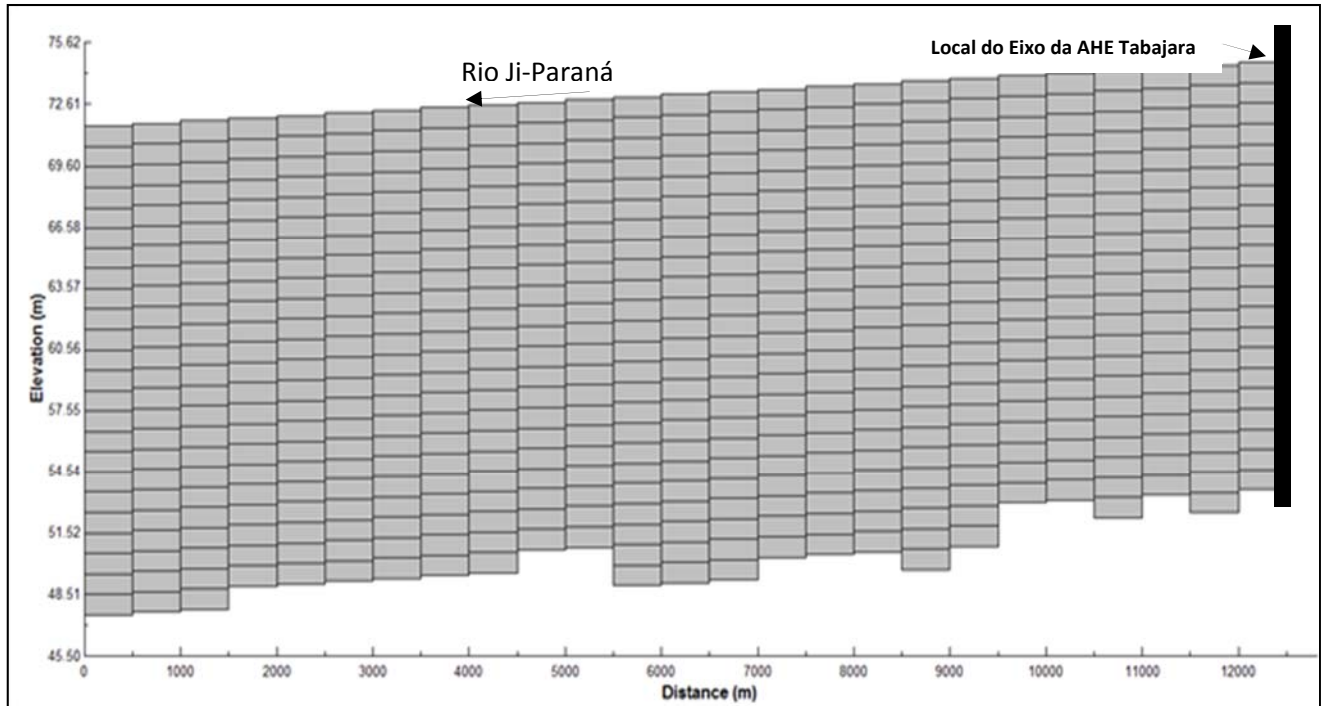


Figura 5.6.2 - Vista Lateral da Grade do Rio Ji-Paraná a Jusante da Barragem do AHE Tabajara

Quadro 5.6.1 – Dados da Grade Modelada do Trecho do Rio Ji-Paraná

Trecho Modelado	12,5 km
Número de Trechos de Rios	25
Comprimento de cada Trecho	500 m
Elevação mínima da grade	46,0 m
Elevação máxima da grade	74,12 m
Número de camadas	27
Espessura da camada	1,0 m
Latitude	-8.91°
Longitude	-62.175°

A aeração da água liberada pela barragem foi simulada utilizando-se a seguinte equação (WES, 2006; WES, 2007, Columbia Basin Research, 1998):

$$\frac{D_a}{D_b} = 1 + 0.38ab(1 - 0.11c)(1 + 0.046T)c$$

Onde:

D_a = déficit de OD acima da barragem, mg/L

D_b = déficit de OD abaixo da barragem, mg/L

T = temperatura, °C

c = altura da queda d'água, m

a = 1.8 para água clara

b = 0.45 para o lago

A concentração do oxigênio dissolvido Φ_{O_2} abaixo da barragem é calculada pela seguinte expressão:

$$\Phi_{O_2} = \Phi_{sat} - D_b$$

Sendo: Φ_{sat} = Saturação do OD em mg/L.

A altura de queda na estrutura vertente foi assumida como sendo de 9,10 m, que representa a diferença de elevação entre a cota da crista do vertedouro (64,3 m) e o nível d'água normal de jusante (55,20 m).

Nas Figuras 5.6.3 a 5.6.7 são apresentados para cada parâmetro modelado os resultados reunindo os quatro cenários simulados, respectivamente para oxigênio dissolvido, DBO, nitrato, amônia e fósforo considerando a realização das ações preventivas de desmatamento e limpeza do reservatório.

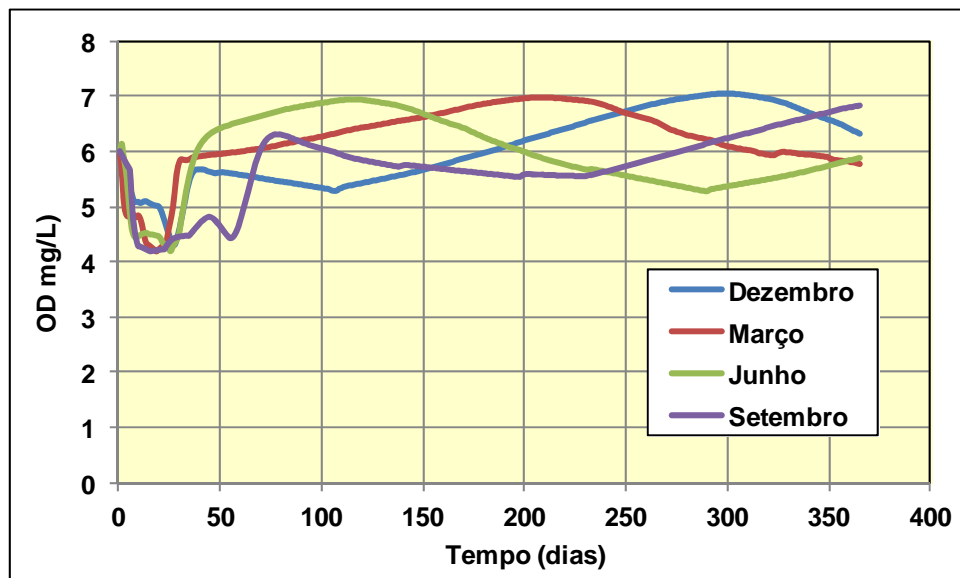


Figura 5.6.3 – Oxigênio Dissolvido

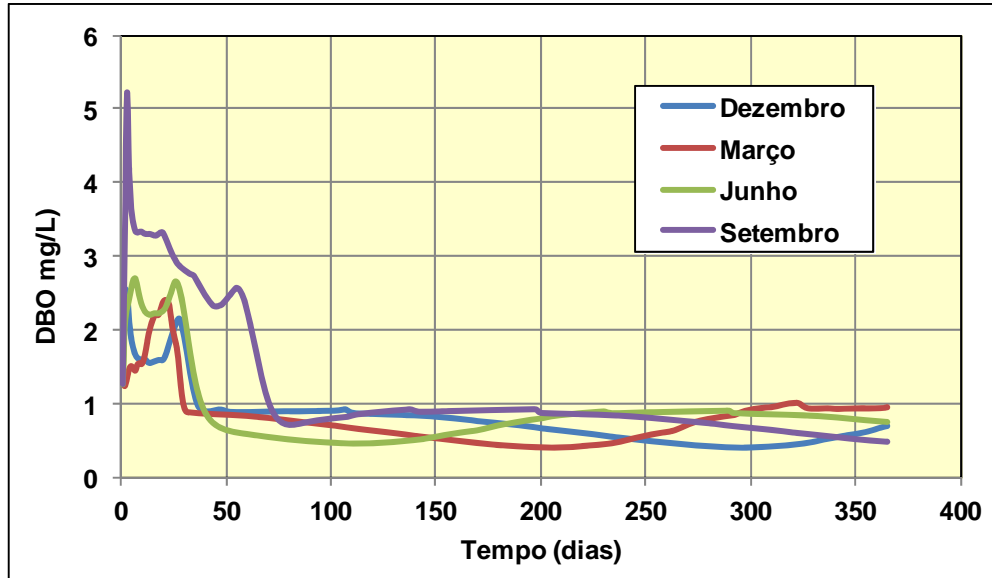


Figura 5.6.4 – Demanda Bioquímica do Oxigênio - DBO

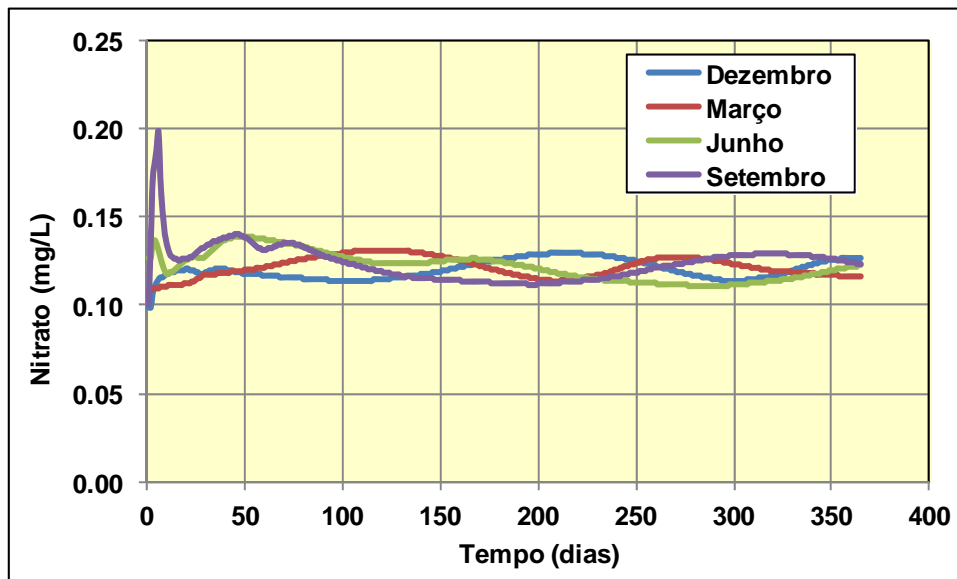


Figura 5.6.5 – Nitrato

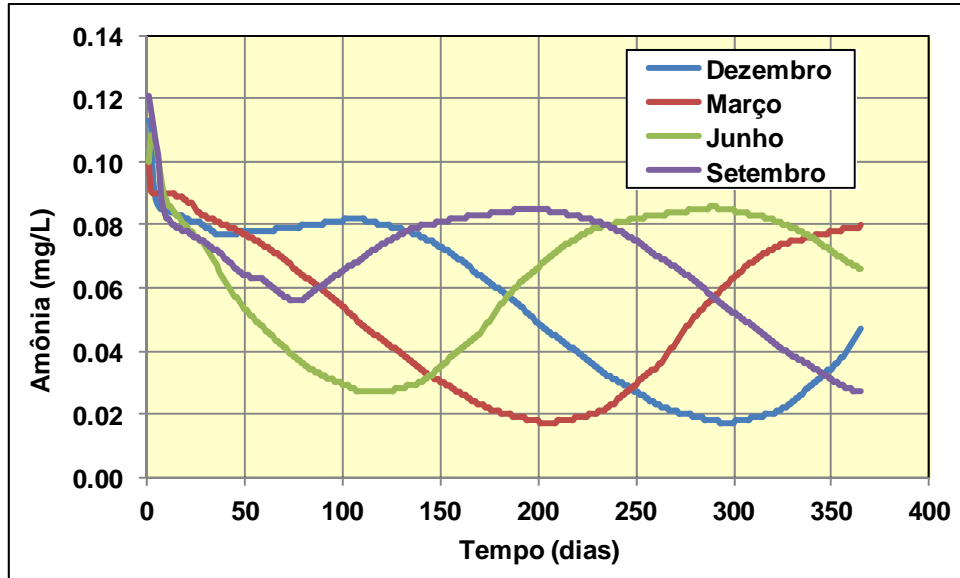


Figura 5.6.6 – Amônia

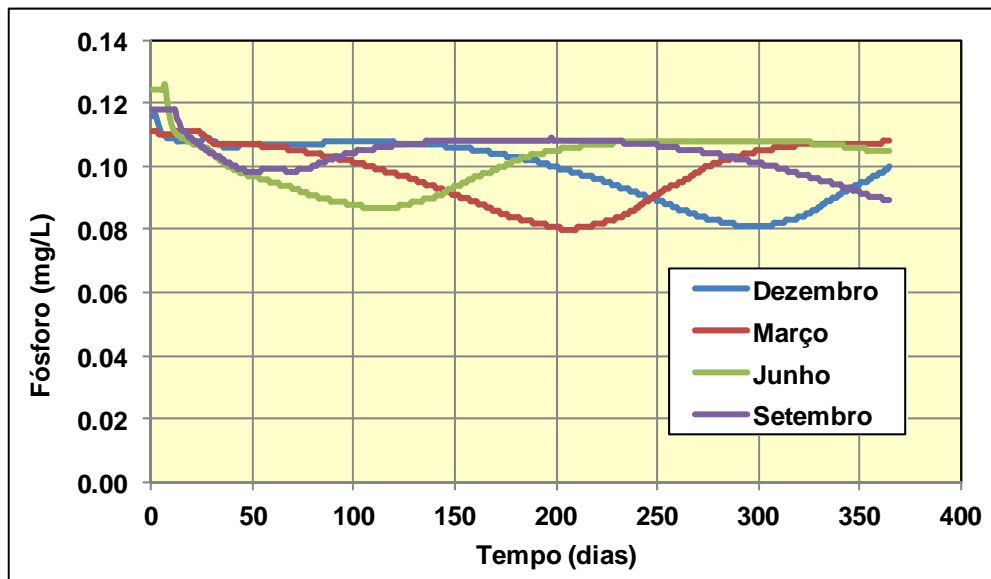


Figura 5.6.7 – Fósforo

Os resultados das simulações do trecho de jusante mostram que as possíveis alterações ocorrerão no máximo, até o final do primeiro trimestre desde a formação do reservatório; após esse período, as variáveis tenderão a voltar para os valores de base verificados atualmente no rio Ji-Paraná. Com base nos cenários selecionados, os resultados mostram ainda, que tais alterações deverão ocorrer dentro dos limites preconizados na Resolução Conama 357/2005 para rios de classe 2 (Brasil, 2005). Esses resultados mostram com clareza os efeitos temporais da formação do reservatório no trecho de jusante, com alterações das concentrações das variáveis selecionadas e decréscimo das concentrações de oxigênio dissolvido. Indiretamente mostram também o período necessário para que haja estabilização do reservatório, pois, dependendo da variável, após o período compreendido

entre 50 e 100 dias, os valores das concentrações passam a variar em função de outros fatores (e.g., vazão) próprios do rio Ji-Paraná.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As variáveis apresentadas nas simulações (Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica do Oxigênio, Nitrato, Amônia e Fósforo) foram especialmente selecionadas, por estarem diretamente relacionadas com os eventuais impactos de curto prazo, gerados devido à degradação da fitomassa submersa (i.e., anoxia, anaerobiose). Essas variáveis consideram, ainda, a descrição da fase transiente do reservatório até atingir a estabilização. As formas nitrogenadas e o fósforo total são usualmente utilizados para a classificação do grau de trofia dos ambientes aquáticos. A chamada “estabilização do reservatório” depende da variável selecionada e a seleção dessas variáveis permite avaliar esse evento levando em consideração diferentes elementos e, conseqüentemente, diferentes processos.

Os inícios de enchimentos foram simulados a cada três meses (dezembro, março, junho e setembro), perfazendo quatro simulações no ano. Os cenários de início de enchimento abrangeram os períodos de enchente (dezembro), cheia (março) vazante (junho) e seca (setembro). Tais situações foram selecionadas para que as simulações pudessem descrever todas as possibilidades em função do período hidrológico. Os resultados obtidos indicam que o início do enchimento em qualquer mês além desses apenas seria uma situação intermediária que pouco acrescentaria aos resultados obtidos.

Os resultados das simulações apontam que as condições límnicas mais favoráveis serão verificadas nos compartimentos que compõem o corpo central do reservatório, que estará mais suscetível a qualidade de água aportada a montante do rio Ji-Paraná do que propriamente dos afluxos de vazões geradas na bacia contribuinte intermediária do reservatório.

Considera-se também o baixo tempo de residência da água veiculada nos compartimentos do corpo central, estimado em pouco mais de 3,6 dias, configurando-o como ambiente lótico de mistura completa e sem tendência a ocorrência de processo de estratificação térmica.

As piores condições de qualidade da água deverão ser observadas nos braços tributários, que em função da baixa circulação da água, estarão mais sujeitos aos processos de eutrofização e estratificação térmica. Independente do início da data da operação de enchimento, a recuperação do reservatório deverá ocorrer primeiramente na calha principal do rio Ji-Paraná no sentido montante/jusante. As condições mais favoráveis dos braços do reservatório deverão ocorrer de modo mais lento.

Em função das condições peculiares dos compartimentos que compõem os braços do reservatório e em razão das baixas concentrações do oxigênio dissolvido que normalmente já ocorrem nos ambientes aquáticos da região, no desmatamento e limpeza do reservatório considerou-se a remoção radical da biomassa existente nesses compartimentos (braços do reservatório), visando evitar durante a fase crítica e transitória do enchimento, a ocorrência de anoxia. Tendo em vista somente a qualidade da água, o quantitativo da remoção da biomassa poderá ser menor no caso do início da operação de enchimento ocorrer no mês de março (época de cheia).

Diante das condições mais favoráveis dos segmentos referentes à calha do rio Ji-Paraná (principal eixo do reservatório), sem considerar qualquer época de formação do reservatório, as condições límnicas de jusante não deverão apresentar alterações drásticas. Independente do cenário analisado, as concentrações mínimas do oxigênio dissolvido apontados pelas simulações no segmento 10 (área

adjacente a barragem), ficaram próximas a 4 mg/L, tais concentrações foram verificadas de forma pontual e restrita ao período do enchimento do reservatório.

No local do eixo do AHE Tabajara, a concentração objetiva mínima esperada para o oxigênio dissolvido igual a 4 mg/L deverá ser observada de forma pontual e restrita no período do enchimento do reservatório. É importante mencionar que concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg/L e com valores até próximo de 4 mg/L foram observadas nas amostragens realizadas no curso do rio Ji-Paraná, principalmente durante as campanhas de coleta realizadas nos meses de março e junho/julho (e essas concentrações também foram utilizadas nas simulações). Supõe-se a princípio que estas constatações não se constituem em episódios fortuitos, podendo refletir uma condição sazonal natural do rio Ji-Paraná, mediante as características climáticas, geológicas e de uso predominante do solo. A confirmação deste fato somente será possível quando da disponibilização de um maior número de campanhas de amostragens de qualidade da água a serem desenvolvidas durante a etapa do PBA.

Condições menos favoráveis de concentração do oxigênio dissolvido foram observadas nas campanhas de amostragens realizadas nos tributários laterais afluentes ao corpo central do reservatório, cumprindo destacar o igarapé São Domingos com mínimas observadas de 1,9 mg/L no mês de março; igarapé dos Marmelos com mínimas incidentes de 2,3 mg/L verificadas no mês de setembro e rio Machadinho com mínima concentração de oxigênio dissolvido verificada de 4,2 mg/L também incidente no mês de setembro.

A análise dos resultados obtidos nas simulações indica que a estabilização do reservatório (i.e., período necessário para que as características da água voltem as condições próximas das do rio) varia entre 50 e 100 dias. Devido aos baixos tempos de residências, a estabilização deverá ocorrer mais rapidamente (e.g., 30 a 50 dias) na região referente à calha central do reservatório (segmentos: 1, 2, 4, 8 e 10). Devido ao menor fluxo hidráulico, nos braços do reservatório a estabilização deverá ser mais lenta (entre 50 e 100 dias). Esses períodos de estabilização também podem ser avaliados nas simulações referentes ao trecho de jusante do reservatório.

Assim, com base nos diferentes cenários apresentados, os resultados indicam que o enchimento no mês de março possibilitará que as oscilações críticas de qualidade de água, considerando os valores preconizados na Resolução CONAMA 357/05 para águas classe 2, sejam de menor duração na comparação com os demais meses simulados, devido às maiores vazões da época de cheia. Nesse sentido, o enchimento no mês de março pode ser considerado o cenário preferencial para o enchimento do reservatório sob a perspectiva da qualidade da água, exigindo uma supressão de vegetação em 46,5% da área do reservatório, o que corresponde a 4.513,04 hectares de remoção de biomassa.

Considera-se que o resultado da simulação apresentada neste documento refere-se a uma análise preliminar, devendo ser aprimoradas na fase do PBA quando deverão estar disponíveis um maior número de campanhas de amostragens de qualidade da água, dados mais atualizados da fitomassa residente na área do reservatório e data mais precisa de quando será efetivado o enchimento do reservatório. Nesta fase dos estudos, a modelagem matemática de qualidade da água fundamentada nesta base atualizada de dados deverá ser reformulada já visando maior ajuste do planejamento do desmatamento e limpeza do reservatório. Neste planejamento, outros fatores além da qualidade da água deverão ser ponderados, considerando de forma harmônica os aspectos relacionados aos usos

múltiplos do reservatório considerando: a beleza cênica, a manutenção da ictiofauna, a navegação, lazer/turismo, minimizar a proliferação de vetores de veiculação hídrica e segurança da barragem. Na simulação da operação de enchimento há que se considerar, também o tempo mínimo necessário para que ocorra, com êxito, a operação de resgate da fauna.

Além da conservação das condições favoráveis para a qualidade da água do reservatório, o programa de limpeza da bacia de acumulação do AHE Tabajara deverá considerar a manutenção da ictiofauna residente; nesse caso, são previstos a manutenção de áreas de “paliteiros” cuja presença é benéfica ao servir de proteção e refugio as várias espécies de peixes, evitando a sua predação, e propiciando a criação de ambientes favoráveis para a reprodução de organismos da ictiofauna adaptados às condições de reservatório e a formação de novos criadouros naturais, em função do aumento da complexidade física. Considera-se que esses ambientes mais protegidos permitem também o desenvolvimento de uma rica comunidade aquática baseada no perífiton que medra sobre os troncos, além de representar locais propícios para o estabelecimento da fauna semiaquática, beneficiando jacarés, tartarugas e aves paludícolas, que compõe parte da biodiversidade afetada pela perda de outras feições aluviais (ilhas, praias e pedrais).

As áreas de paliteiros deverão dominar o perímetro de algumas ilhas e extensões dos braços tributários localizados na margem direita do reservatório. Neste planejamento consideraram-se os possíveis conflitos com a navegabilidade através da previsão de faixas distintas de uso de cada modalidade específica, não sendo recomendável a previsão de áreas de paliteiros em segmentos próximos às ocupações humanas por influenciar a balneabilidade e por contribuir temporalmente para a proliferação de macrófitas aquáticas e conseqüentemente, para a proliferação de vetores de doenças de veiculação hídrica.

Segundo Agostinho et al. (2007) a manutenção da vegetação terrestre submersa tem sido vista como um fator favorável em função dos seguintes fatores:

- Fornecer substrato para perifiton e bentos. Comunidades perifíticas e bentônicas fazem parte da cadeia alimentar e são importantes recursos para diversas espécies de peixes. A manutenção da vegetação prévia (paliteiros) aumenta consideravelmente a área de substrato para a produção, principalmente do perifiton, ampliando assim, o espaço de nicho que dará suporte aos níveis superiores da cadeia alimentar, o que incrementa a capacidade biogênica do reservatório;
- Prevenir a sobrepesca. A manutenção da vegetação dificulta a utilização de equipamentos de pesca, em especial aqueles utilizados por arrasto e com isso, reduz o risco de sobrepesca;
- Disponibilizar locais de reprodução e refugio. Diversas espécies de peixes utilizam a vegetação submersa como substrato para desova e proteção de seus ovos e larvas contra a predação. Além disso, a vegetação protege ainda de efeitos físicos como ondas, erosão e cargas de sedimentos, tornando a região próxima a vegetação, perfeita para o desenvolvimento das fases iniciais;
- Aumentar a produtividade em áreas litorâneas. As áreas litorâneas onde ocorre a transição para a região inundada, necessitam a manutenção de vegetação viva, que mantém o

processo de fornecimento de matéria orgânica e nutriente para o reservatório, além de aumentar a diversidade estrutural.

Na questão relacionada ao desmatamento, considera que a fração da cobertura vegetal constituída por florestas aluviais são naturalmente resistentes à inundação temporária, desde que as árvores continuem com a copa emersa. Trata-se de uma informação relevante, com potencial de amenizar significativamente os impactos na qualidade da água, uma vez que as árvores dessas fitocenoses permanecerão vivas por três ou mais meses após o enchimento, perecendo de maneira gradual a partir de então. Isso significa que a biomassa dessa vegetação será incorporada ao reservatório numa taxa mais baixa, por um período mais prolongado e não de forma imediata como interpreta o modelo matemático. Como resultado, os patamares de redução de OD não serão tão severos e o tempo necessário para a recuperação da qualidade da água não será tão prolongado.

De acordo com: i) as simulações realizadas (independente da época de formação do reservatório e do grau de supressão vegetal); ii) as temperaturas predominantes da região; iii) as concentrações atuais de fósforo e de compostos nitrogenados, prevê-se que os segmentos laterais do reservatório deverão se constituir em ambientes favoráveis para o desenvolvimento de macrófitas aquáticas; além do estado trófico favorável esses ambientes apresentarão baixas velocidades de corrente que costumam favorecer o crescimento e manutenção desses vegetais. Por sua vez, por se constituir em barreira física, a correnteza deverá conter as plantas aquáticas flutuantes nas margens do corpo central do reservatório. A se manterem as atuais aduções de nutrientes nos tributários, as simulações das concentrações de nutrientes (em especial o fósforo) nos braços do reservatório indicam que a incidência e manutenção das macrófitas nesses ambientes poderá ser um evento de longo prazo (maior que um ano). A eutrofização induzida pela formação do reservatório deverá ser dissipada em poucos meses (por exemplo, de 3 a quatro meses).

7. DADOS BIBLIOGRÁFICOS

Allan, J. D.; Castillo, M. M. (2007). Stream Ecology - Structure and function of running waters. Springer, 436p.

Ashbolt, N. J.; Grabow, W. O. K.; Snozzi, M. (2001). Indicators of microbial water quality. In: Water Quality: guidelines, standards and health. IWA Publishing.

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. 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-Santino, M.B. 2011. Model parameterization for aerobic decomposition of plant resources drowned during man-made lakes formation. *Ecol. Model.*, 222: 1263-1271.

Bianchini Jr., I., Cunha-Santino, M.B., Panhota, R.S. 2011. Oxygen uptake from aquatic macrophyte decomposition from Piraju Reservoir (Piraju, SP, Brazil). *Braz. J. Biol.*, 71(1): 27-35.

Bianchini Jr., I., Cunha-Santino, M.B., Ribeiro, J.U., Penteadó, D.G.B. 2014. Implication of anaerobic and aerobic decomposition of *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth. on the carbon cycling in a subtropical reservoir. *Braz. J. Biol.*, 74(1): 100-110.

Bowie, G.L., Mills, W.B., Porcella, D.B., Campbell, C.L., Pagenkopf, J.R., Rupp, G.L., Johnson, K.M., Chan, P.W.H., Gherini, S.A., Chamberlin, C.E. 1985. Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. Government Printing Office, Athens, pp. 455 p. EPA/600/3-85/040. U.S. Environmental Protection Agency.

Brasil (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Publicado no D.O.U.

CENEC – Consórcio Nacional de Engenheiros Colsultores 1989. Modelo Matemático ESTRAQUAL – Manual do usuário. São Paulo.

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., Bitar, A.L., Bianchini Jr., I. 2013. Chemical constraints on new man-made lakes. *Environ. Monit. Assess.*, 185: 10177-10190.

Cunha-Santino, M.B., Bitar, A.L., Bianchini Jr., I. 2016. Gas emission from anaerobic decomposition of plant resources. *Acta Limnol. Bras.*, 28: e30.

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

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

Esteves, F. A. (1998). Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 602p.

- 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.
- Hespanho, I. 1984. Impactos ambientais por reservatórios de água: o caso particular da vegetação inundada. *Rev. Politécnica*, 183: 16-20.
- Jewell, W. J. Aquatic weed decay: dissolved oxygen utilization and nitrogen and phosphorus regeneration. *J. Wat. Poll. Contr. Fed.*, 43: 1457-1467, 1971.
- Junk, W. J. (1980). Áreas inundáveis - um desafio para a Limnologia. *Acta Amazônica*, 10:775-795.
- Lush, D. L. & Hynes, H. B. N. The formation of particles in freshwater leacheates of dead leaves. *Limnol. Oceanogr.*, 18: 968-977, 1973.
- 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.
- NAS - National Academy of Sciences. Methane Generation from Human, Animal and Agricultural wastes. 2nd ed. Washington: National Research Council, 131p., 1981.
- Passeirini, M.D., Cunha-Santino, M.B., Bianchini Jr., I. 2016. Oxygen availability and temperature as driving forces for decomposition of aquatic macrophytes. *Aquat. Bot.*, 130: 1-10.
- 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.
- Tundisi, J. G. Construção de reservatórios e previsão de impactos ambientais no baixo Tietê: problemas limnológicos. *Biogeografia*, 13: 1-19, 1978.
- Weiner, E.R. (2013). Applications of Environmental Aquatic Chemistry - A practical guide. Boca Raton, CRC Press, 575p.
- Wetzel, R. G. Limnology. Philadelphia: Saunders College Publishing, 860p., 1983.