

ÍNDICE

4 - Metodologia	1/34
4.1 - Malha amostral.....	1/34
4.2 - Variáveis limnológicas	5/34
4.3 - Coleta, Conservação e análise das amostras.....	10/34
4.3.1 - Variáveis abióticas	14/34
4.3.1.1 - Elementos-traço.....	16/34
4.3.1.2 - Compostos orgânicos (Biocidas)	17/34
4.3.1.3 - Isótopos.....	17/34
4.3.1.4 - Sedimentos.....	18/34
4.3.2 - Variáveis bióticas.....	19/34
4.3.2.1 - Fitoplâncton	19/34
4.3.2.2 - Zooplâncton.....	22/34
4.3.2.3 - Invertebrados bentônicos.....	24/34
4.3.2.4 - Macrófitas aquáticas.....	25/34
4.4 - Análise dos dados.....	27/34
4.4.1 - Análises biológicas	29/34
4.4.1.1 - Riqueza de espécies	29/34
4.4.1.2 - Densidade de organismos	29/34
4.4.1.3 - Frequência de ocorrência.....	29/34
4.4.1.4 - Abundância específica e abundância relativa	30/34
4.4.1.5 - Índice de diversidade específica e equidade	31/34
4.4.1.6 - Diversidade alfa, beta e gama	31/34

4.4.1.7 -	Dominância.....	32/34
4.4.2 -	Análise estatística.....	32/34
4.5 -	Monitoramento em tempo real e variação nicte- meral.....	33/34

ANEXOS

Anexo 4-1 - Mapa de Localização das Estações de Monitoramento Limnológico

4 - METODOLOGIA

4.1 - MALHA AMOSTRAL

Para execução do monitoramento limnológico foram estabelecidas 24 estações de coleta, sendo 8 estações distribuídas ao longo do rio Madeira, 9 nos tributários, 5 em lagos de jusante e 2 no canal do lago Cuniã (Anexo 4-1 - Mapa de Localização das Estações de Monitoramento Limnológico).

O código, a descrição e a coordenada geográfica de cada uma das estações ordenadas de montante a jusante são apresentados no Quadro 4-1. A seguir, é feita uma descrição mais detalhada de cada estação.

Quadro 4-1 - Descrição das estações de coleta, com os códigos de identificação e as coordenadas geográficas.

Estações	Descrição	Coordenadas Geográficas Datum SAD 69	
MON.05	Rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da cachoeira Jirau	9° 12'39.10"	64° 37'15.97"
CAR	Rio Caripuna, cerca de 1 km a montante de sua foz	9° 11'41.43"	64° 37'25.30"
MON.04	Rio Madeira, cerca de 10 km a montante da foz do rio Jaci-Paraná	9° 10'25.40"	64° 28'39.60"
JAC.01	Rio Jaci-Paraná, cerca de 4 km a montante de sua foz	9° 13'37.44"	64° 23'05.87"
JAC.02	Rio Jaci-Paraná, cerca de 15 km a montante de sua foz	9° 17'20.10"	64° 23'53.20"
CRC	Rio Caracol, cerca de 1 km a montante de sua foz	9° 11'48.85"	64° 22'29.26"
MON.03	Rio Madeira, 24 km a jusante da desembocadura do rio Jaci-Paraná	9° 01'39.20"	64° 16'44.10"
MON.02	Rio Madeira, cerca de 10 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio	8° 55'36.10"	64° 04'56.90"
JAT I	Igarapé Jatuarana I, cerca de 1 km a montante de sua foz	8° 49'46.60"	64° 02'58.01"
TEO	Igarapé Teotônio, cerca de 1 km a montante de sua foz	8° 51'37.97"	64° 01'39.12"
MON.01	Rio Madeira, cerca de 8,5 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio	8° 50'31.50"	63° 59'42.30"
JUS.01	Rio Madeira, cerca de 3 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio	8° 47'17.50"	63° 55'53.70"
JAT II	Igarapé Jatuarana II, cerca de 500 m a montante de sua foz	8° 38'48.17"	63° 55'08.44"
BEL	Igarapé Belmont, cerca de 200 m a montante de sua foz	8° 38'34.95"	63° 51'00.98"
JUS.02	Rio Madeira, cerca de 25 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio	8° 38'13.30"	63° 52'02.10"
JAM	Rio Jamari, 10 km a montante de sua desembocadura no rio Madeira	8° 29'25.49"	63° 29'58.48"
MIG	Lago São Miguel, cerca de 33 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio	8° 35'56.90"	63° 48'21.52"
CUJ	Lago Cujubim, cerca de 42 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio	8° 34'55.78"	63° 42'33.88"
JUS.03	Rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da desembocadura do rio Jamari	8° 18'33.22"	63° 23'32.77"
CC.01	Canal do Cuniã, cerca de 10 km a montante da foz do canal do lago	8° 11'31.88"	63° 23'40.96"
CC.02	Canal do Cuniã, cerca de 42 km a montante da foz do canal do lago	8° 18'38.99"	63° 29'09.93"
LC.01	Lago do Cuniã, cerca de 2,5 km a montante de CC.02	8° 19'20.01"	63° 30'10.02"
LC.02	Lago do Cuniã, cerca de 6,5 km a montante de CC.02	8° 18'13.52"	63° 27'00.59"
LC.03	Lago do Cuniã, cerca de 1 km a montante de CC.02	8° 19'06.56"	63° 29'48.20"

Rio Madeira

- Estação Montante 05 (MON.05) - localizada no rio Madeira, a jusante da cachoeira de Jirau, sendo a estação mais a montante na área de influência do futuro reservatório da UHE de Santo Antônio. A qualidade hídrica dessa estação foi considerada a matriz limnológica para a avaliação das modificações hidroquímicas advindas da construção da hidrelétrica de Santo Antônio.
- Estação Montante 04 (MON.04) - localizada no rio Madeira, cerca de 10 km a montante da foz do rio Jaci-Paraná. Os dados obtidos nessa estação comporão parte da informação para a avaliação da influência do rio Jaci-Paraná sobre as águas do Madeira e do futuro reservatório da hidrelétrica de Santo Antônio.
- Estação Montante 03 (MON.03) - localizada no rio Madeira, cerca de 24 km a jusante da desembocadura do rio Jaci-Paraná e 30 km a montante da estação MON.02. Pretende-se nessa estação detectar as possíveis interferências na qualidade da água do rio Madeira pelas águas do rio Jaci-Paraná e Caracol, afluentes sob forte influência da colonização agropecuária na região.
- Estação Montante 02 (MON.02) - localizada no rio Madeira, cerca de 10 km a montante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.
- Estação Montante 01 (MON.01) - localizada no rio Madeira, cerca de 8,5 km a montante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. Nessa estação pretende-se avaliar toda a contribuição hidroquímica a montante da cachoeira de Santo Antônio e do reservatório. É um ponto onde, certamente, todo o volume de água do rio Madeira encontra-se sob forte mistura, em consequência não apenas do grande desnível do leito do rio até este local, mas também pela vigorosa influência da cachoeira de Santo Antônio, a maior em todo o percurso do rio Madeira.
- Estação Jusante 01 (JUS.01) - localizada no rio Madeira, cerca de 3 km a jusante da do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. Nessa estação foi realizada a avaliação limnológica de toda a água vertida do reservatório da hidrelétrica. É também um ponto de forte mistura da coluna de água, totalizando da estação MON.05 até aqui, cerca de 18 m de desnível.
- Estação Jusante 02 (JUS.02) - localizada no rio Madeira, cerca de 25 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. É o início do baixo rio Madeira, trecho característico de um rio de planície.

- Estação Jusante 03 (JUS.03) - localizada no rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da foz do rio Jamarí e 113 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.

Tributários

- Estação Caripuna (CAR) - localizada no rio Caripuna, cerca de 1 quilômetro a montante da desembocadura desse rio na margem esquerda do rio Madeira. A foz desse rio está a cerca de 27 km a jusante da cachoeira Jirau.
- Estação Jaci-Paraná 01 (JAC.01) - localizada no rio Jaci-Paraná, cerca de 4 km acima de sua desembocadura na margem direita do rio Madeira. A foz desse afluente está cerca de 81 km a montante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.
- Estação Jaci-Paraná 02 (JAC.02) - localizada no rio Jaci-Paraná, cerca de 15 km a montante de sua foz. A avaliação limnológica dessa estação pretende investigar a influência do represamento das águas desse rio em consequência da barragem.
- Estação Caracol (CRC) - localizada no rio Caracol, cerca de 1 quilômetro a montante de sua foz. A sua desembocadura, na margem direita do rio Madeira, está a cerca de 2 km a jusante da confluência do rio Jaci-Paraná.
- Estação Teotônio (TEO) - localizada no igarapé Teotônio, cerca de 1 quilômetro a montante de sua foz. A sua desembocadura, na margem direita do rio Madeira, está a cerca de 3,5 km a jusante da cachoeira do Teotônio.
- Estação Jatuarana I (JAT I) - localizada no igarapé Jaturana I, cerca de 1 quilômetro a montante de sua foz. A sua desembocadura, na margem esquerda do rio Madeira, está a cerca de 3,5 km a jusante da cachoeira do Teotônio. A avaliação limnológica desta estação pretende investigar a influência do represamento das águas deste rio em consequência da barragem.
- Estação Jatuarana II (JAT II) - localizada no igarapé Jatuarana II, cerca de 500 m a montante de sua desembocadura na margem esquerda do rio Madeira. A foz desse igarapé está a cerca de 5,5 km a montante da estação Jusante 02 (JUS.02).
- Estação Belmont (BEL) - localizada no igarapé Belmont, cerca de 200 m a montante de sua foz. A foz desse igarapé está a cerca de 27 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio e 2 km abaixo da estação Jusante 02 na margem direita do rio Madeira.

- Estação Jamari (JAM) - localizada no rio Jamari, cerca de 10 km a montante de sua desembocadura no rio Madeira. O Jamari desemboca na margem direita do rio Madeira, cerca de 93 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.

Lagos e canais

- Estação Lago São Miguel (MIG) - Lago São Miguel, localizado próximo à margem esquerda do rio Madeira, a cerca de 33 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio e 10 km da estação JUS.02.
- Estação Lago Cujubim (CUJ) - Lago Cujubim, localizado próximo à margem direita do rio Madeira, a cerca de 42 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio, a cerca de 19 km da estação JUS.02.
- Estação Canal do Cuniã 01 (CC.01) - localizada no canal do lago do Cuniã, cerca de 10 km a montante da foz do canal do lago. A foz do canal, margem esquerda do rio Madeira, está cerca de 36 km a jusante da foz do rio Jamari, 16 km abaixo da estação JUS.03 e cerca de 130 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.
- Estação Canal do Cuniã 02 (CC.02) - localizada no canal do lago, cerca de 42 km a montante da foz do canal do lago. Local característico do canal do Cuniã, distante da influência do lago Cuniã. Essa estação corresponde ao início do canal, que dá acesso do lago ao rio Madeira.
- Estação Lago do Cuniã 01 (LC.01) - localizada na região mais profunda do principal lago-abastecedor do Cuniã, cerca de 2,5 km a montante de CC.02.
- Estação Lago do Cuniã 02 (LC.02) - localizada na região mais profunda da área central do lago do Cuniã, cerca de 6,5 km a montante da estação CC.02.
- Estação Lago Cuniã 03 (LC.03) - localizado na margem do lago do Cuniã, cerca de 1,0 km a montante da estação CC.02.

4.2 - VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

Para caracterização da qualidade da água foram selecionadas as variáveis físicas, físico-químicas, químicas e biológicas. Estas variáveis foram agrupadas em categorias de natureza Físicas (A, B, C), Físico-Química, Química (1 A-D, 2, 3, 4, 5, 6), Biológica, Sedimentos Superficiais e Macrófitas Aquáticas Quadro 4-2.

Quadro 4-2 - Variáveis limnológicas a serem monitoradas, agrupadas por categorias.

Variáveis
Físicas - A
Temperatura do ar
Profundidade
Transparência
Coeficiente atenuação vertical
Zona eufótica
Cor
Velocidade de corrente
Físicas - B
Temperatura da água
Físicas - C
Turbidez
Sólidos em suspensão
Sólidos totais dissolvidos
Sólidos totais
Sólidos fixos
Sólidos voláteis
Físico-químicas
Condutividade elétrica
Potencial hidrogeniônico (pH)
Concentração molar [H ⁺]
Químicas
Oxigênio, demandas e relações de consumo
Químicas I - A
Oxigênio - percentagem de saturação
Oxigênio - concentração
Químicas I - B
O ₂ inicial (DBO) - percentagem de saturação
O ₂ inicial (DBO) - concentração
O ₂ 5 dias
Demanda bioquímica de oxigênio - DBO ₅

Variáveis
Químicas I - C
Demanda química de oxigênio - DQO
Carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO)
Químicas I - D
DBO.100/O ₂ - consumo de O ₂ pela DBO ₅
O ₂ .100/DQO - o O ₂ presente é x% da DQO
DBO.100/DQO - a DBO ₅ é x% da DQO
O ₂ .100/(DBO+DQO) - o O ₂ é x% das demandas
Carbono inorgânico (CI)
Carbono orgânico total (quimicamente oxidado) (COT)
Carbono total (CT)
Carbono orgânico refratário (COR)
Químicas II
Sistema tampão
Gás carbônico livre
Gás carbônico total
Alcalinidade
Alcalinidade de bicarbonatos
Dureza
Dureza devido ao cálcio e magnésio
Químicas III
Íons principais
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺
Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , HCO ₃ ⁻
Químicas IV
Nutrientes inorgânicos e suas frações
Nitrogênio amoniacal
Nitrito
Nitrato
Nitrogênio inorgânico dissolvido (NID)
Nitrogênio total dissolvido (NTD)
Nitrogênio total (NT)
Nitrogênio orgânico dissolvido (NOD)
Nitrogênio orgânico total (NOT)
Nitrogênio particulado
Ortofosfato
Fósforo total dissolvido (PTD)
Fósforo total (PT)
Fósforo orgânico dissolvido (POD)
Fósforo orgânico total (POT)
Fósforo particulado (PP)
Silicatos reativos

Variáveis
Químicas V
Ferro dissolvido
Ferro total
Óleos e graxas
Químicas VI
Elementos-traço
Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn
Biológicas
Clorofila a (Chla)
Pigmentos totais (Pig tots)
Fitoplâncton (F)
Zooplâncton (Z)
Coliformes totais
<i>Escherichia coli</i>
Fracionamento Isotópico
Cianotoxinas
Sedimentos Superficiais
Invertebrados bentônicos
Granulometria (areia grossa, areia fina, silte, argila)
Cinzas
Matéria orgânica
Carbono orgânico
Nitrogênio
Fósforo
Sódio
Potássio
Cálcio
Magnésio
Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn
Compostos Orgânicos - HPAs (Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo(b)fluoranteno; Benzo(k)fluoranteno; Dibenzo(a,h)antraceno; Indeno(1,2,3,cd)pireno);Criseno e PCBs (Bifenilas Policloradas).
Macrófitas Aquáticas
Identificação
Cinzas
Matéria orgânica
Carbono orgânico
Sódio
Potássio
Cálcio
Magnésio
Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn

As variáveis do grupo Físicas-A (temperatura do ar, profundidade, transparência, coeficiente de atenuação vertical, zona eufótica e cor) foram medidas uma vez em cada uma das estações de coleta. As variáveis limnológicas agrupadas em Físicas-B, Física C, Físico-Químicas e Químicas I-A (temperatura da água, turbidez, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, concentração molar, concentração e saturação de oxigênio dissolvido) foram mensuradas a cada 50 cm desde a superfície até próximo a profundidade máxima de cada estação de coleta para obtenção do perfil vertical da coluna d'água.

As variáveis limnológicas agrupadas em Físicas-C (sólidos em suspensão, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis) foram analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações no centro da calha do rio Madeira e no canal do lago Cuniã e somente na subsuperfície das estações nos afluentes nos lagos de jusante. As variáveis limnológicas agrupadas em Química IB (DBO), Química IC (DQO), Químicas ID (formas de carbono), Química II (gás carbônico, alcalinidade e dureza), Química III (íons) e Química V (ferro total e ferro dissolvido) e Elementos traço (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn e Zn) foram analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações no centro da calha do rio Madeira e somente na subsuperfície das estações nos afluentes, nos lagos de jusante e no canal do lago Cuniã. Os óleos e graxas e as variáveis biológicas, incluindo coliformes, foram analisados somente na subsuperfície.

No lago do Cuniã, todas as variáveis dos grupos Química I-B a D foram analisadas na subsuperfície, e dos grupos Físicas-C, Química II, III, V e Elementos-traço foram analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações do lago Cuniã (LC.01 e LC.02), quando possível.

As variáveis do grupo Química IV (nitrogênio, fósforo e suas frações) foram analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações no centro da calha do rio Madeira. As Biológicas foram analisadas na subsuperfície das estações no centro da calha do rio Madeira. As variáveis do grupo Químicas IV (nitrogênio, fósforo e suas frações), clorofila a, fitoplâncton e zooplâncton foram analisadas em mais de uma profundidade, sempre que possível, seguindo o tratamento diferenciado apresentado a seguir. Nos tributários, as variáveis do grupo Químicas IV (nitrogênio, fósforo e suas frações), clorofila a, fitoplâncton e zooplâncton foram analisadas em diferentes profundidades:

- até 4 m de profundidade foi coletada amostra apenas na superfície;
- de 4 m a 8 m profundidade foi coletadas amostras na superfície e fundo;

- acima de 8 m profundidade foi coletadas amostras na superfície, meio e fundo.

No lago Cuniã (LC.01 e LC.02), as variáveis do grupo Químicas IV (nitrogênio, fósforo e suas frações), clorofila a, fitoplâncton e zooplâncton foram analisadas em diferentes profundidades:

- até 2 m de profundidade foram coletadas amostras apenas na superfície;
- até 4 m de profundidade foram coletadas amostras na superfície e fundo;
- até 6 m de profundidade foram coletadas amostras na superfície, meio e fundo;
- até 8 m de profundidade foram coletadas amostras em quatro profundidades;
- acima de 8 m de profundidade foram coletadas amostras em cinco profundidades no máximo, distribuídas equitativamente.

As estações de coleta definidas para as análises de HPAs, PCBs, sedimentos e invertebrados bentônicos são coincidentes: Caripuna (CAR), Jaci-Paraná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02). Na região a montante do eixo da barragem, as estações selecionadas para realização destas análises são representativas das áreas mais favoráveis a ocorrência de organismos bentônicos, por se tratar da confluência dos tributários com o leito principal.

O grupo Química VI contempla elementos-traço e compostos orgânicos (biocidas), porém os compostos orgânicos serão amostrados uma vez ao ano, na campanha de enchente. Para determinação da presença de elementos-traço em água, foram analisadas as concentrações de Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn e Zn em amostras coletadas nas 24 estações de amostragem.

4.3 - COLETA, CONSERVAÇÃO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

A campanha de monitoramento limnológico e de macrófitas representativa do período de vazante de 2011 ocorreu entre os dias 15 e 21 de agosto. Em cada estação de coleta foram feitas anotações a respeito do ambiente de entorno e da área de drenagem das estações amostradas. O grupo das variáveis Física A, Físicas B, Físico-Químicas e Química 1A foram determinados em campo, com auxílio de equipamentos portáteis. Para determinação dos demais grupos de variáveis, as amostras de água foram coletadas, preservadas e enviadas para os respectivos laboratórios especializados para análise posterior. Para coleta de amostras em diferentes profundidades foi utilizada uma garrafa de Van Dorn. As amostras foram transportadas em frascos de polietileno ou vidro e devidamente preservadas até o momento da análise seguindo os procedimentos descritos no Quadro 4-3.

Quadro 4-3 - Procedimentos de preservação, armazenamento e tempo de estocagem de amostras para as análises das variáveis limnológicas.

Variáveis	Frasco	Mínimo de amostra coletada (mL)	Preservação	Estocagem máxima recomendada	Tolerável
Físicas - A					
Temperatura do ar Profundidade Transparência Coeficiente atenuação vertical Zona eufótica			Imediatamente		
Cor	P,V	500	Refrigerar a 4±2 °C	48h	48h
Velocidade de corrente			imediatamente		
Físicas - B					
Temperatura da água			imediatamente		
Físicas - C					
Turbidez	P,V	100	Analisar no mesmo dia; estocar no escuro após 24h	24h	48h
Sólidos em suspensão Sólidos totais dissolvidos Sólidos totais Sólidos fixos Sólidos voláteis	P,V	200	Refrigerar a 4±2 °C	2dias	7dias
Físico-químicas					
Condutividade elétrica			Refrigerar a 4±2 °C caso não seja medido imediatamente	Imediatamente	28dias
Potencial hidrogeniônico (pH) Concentração molar [H ⁺]			Imediatamente	0.2h	0.2h

Variáveis	Frasco	Mínimo de amostra coletada (mL)	Preservação	Estocagem máxima recomendada	Tolerável
Químicas					
Oxigênio, demandas e relações de consumo					
Químicas I - A					
Oxigênio - percentagem de saturação Oxigênio - concentração			Imediatamente	Imediatamente	0.2h
Químicas I - B					
O ₂ inicial - percentagem de saturação O ₂ inicial - concentração O ₂ 5 dias Demanda bioquímica de oxigênio -DBO ₅	V, frasco para DBO	300	Fixar com 1 mL de sulfato manganoso e 1 mL de álcali-iodeto. Refrigerar a 4±2 °C	6h	48horas
Químicas I - C					
Demanda química de oxigênio -DQO Carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO)	P,V	100	Analisar o mais breve possível, ou adicionar H ₂ SO ₄ até pH<2; Refrigerar a 4±2 °C.	7dias	28dias
Químicas I - D					
DBO.100/O ₂ -consumo de O ₂ pela DBO ₅ O ₂ .100/DQO -o O ₂ presente é x% da DQO DBO.100/DQO -a DBO ₅ é x% da DQO O ₂ .100/(DBO+DQO) -o O ₂ é x% das demandas	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
Carbono inorgânico Carbono orgânico total (quimicamente oxidado) Carbono total Carbono orgânico refratário	V(B)	100	Analisar imediatamente; ou refrigerar e adicionar HCl, H ₃ PO ₄ ou H ₂ SO ₄ para pH<2	7dias	28dias

Variáveis	Frasco	Mínimo de amostra coletada (mL)	Preservação	Estocagem máxima recomendada	Tolerável
Químicas II					
Sistema tampão					
Gás carbônico livre Gás carbônico total	P,V	100	Refrigerar a 4±2 °C	N.R.	N.R.
Alcalinidade Alcalinidade de bicarbonatos	P,V	200	Refrigerar a 4±2 °C	24h	14dias
Dureza Dureza devido ao cálcio e magnésio	P,V	100	Adicionar HNO ₃ ou H ₂ SO ₄ ajustando o para pH<2; Refrigerar a 4±2 °C	N.R.	N.R.
Químicas III					
Íons principais					
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	P,V	100	Refrigerar a 4±2 °C	N.R.	N.R.
Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻	P,V	100	Refrigerar a 4±2 °C	N.R.	N.R.
Químicas IV					
Nutrientes inorgânicos e suas frações					
Nitrogênio amoniacal	P,V	500	Analisar o mais breve possível; Refrigerar a 4±2 °C	7dias	28dias
Nitrito	P,V	100	Analisar o mais breve possível; refrigerar a 4±2 °C	48h	48h
Nitrato	P,V	100	Analisar o mais breve possível; refrigerar a 4±2 °C	48h	48h

Legenda: P = Plástico; V(B) = vidro borosilicato; V = vidro; N.R. = não referenciada

4.3.1 - Variáveis abióticas

As técnicas de análise de amostras de água para as variáveis físicas e químicas seguiram os protocolos padronizados internacionalmente reconhecidos, preferencialmente as determinações contidas no “STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER” da APHA (1998) 21ª edição. As técnicas analíticas tiveram como base as recomendações do programa biológico internacional para ambientes aquáticos (Golterman et al. 1978). Foram considerados, entre outros, os fundamentos técnicos descritos por Strickland & Parsons (1972), Rodier (1978), Mackereth et al. (1978), e Wetzel & Likens (2000). O Quadro 4-4 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos utilizados para realização das análises, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável a ser analisada. Metodologias similares, com reconhecidas eficiências analíticas, poderão ser utilizadas como alternativas no caso necessário.

Quadro 4-4 - Grupos de variáveis limnológicas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

VARIÁVEIS	Unidade	Método / Equipamento	Deteção
Físicas - A			
Temperatura do ar	°C	termômetro digital	0,1
Profundidade	m	ecobatímetro	0,1
Transparência	m	disco de Secchi	0,05
Coeficiente atenuação vertical	m ⁻¹	calculado	0,01
Zona eufótica	m	calculado	0,01
Cor	mg Pt/L	espectrofotométrico	0,1
Velocidade de corrente	m/s	fluxômetro	0,1
Físicas - B			
Temperatura da água	°C	potenciométrico / sonda YSI 6600	0,1
Físicas - C			
Turbidez	NTU	nefelométrico turbidímetro / sonda YSI 6600	0,01
Sólidos em suspensão	mg/L	gravimétrico entre 103- 105 ° C	0,1
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	gravimétrico a 180° C	0,1
Sólidos totais	mg/L	calculado	0,1
Sólidos fixos	mg/L	evaporação / gravimétrico	0,1
Sólidos voláteis	mg/L	evaporação / gravimétrico	0,1
Físico-químicas			
Condutividade elétrica	µS/cm	potenciométrico / sonda YSI 6600	0,1
Potencial hidrogeniônico (pH)	pH	potenciométrico / sonda YSI 6600	0,001
Concentração molar [H ⁺]	µmol/L	calculado	0,001

VARIÁVEIS	Unidade	Método / Equipamento	Deteção
Químicas			
Oxigênio, demandas e relações de consumo			
Químicas I - A			
Oxigênio - porcentagem de saturação	%	oxímetro / sonda YSI 6600	0,1
Oxigênio - concentração	mg/L	oxímetro / sonda YSI 6600	0,01
Químicas I - B			
O ₂ inicial (DBO) - porcentagem de saturação	% saturação	oxímetro luminescente (LDO)	0,1
O ₂ inicial (DBO) - concentração	mg/L	oxímetro luminescente (LDO)	0,01
O ₂ 5 dias	mg/L	oxímetro luminescente (LDO)	0,01
Demanda bioquímica de oxigênio -DBO ₅	mg/L	incubação por 5 dias	1
Químicas I - C			
Demanda química de oxigênio - DQO	mg/L	método do refluxo fechado / oxidação com o KMnO ₄	1
Carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO)	mg/L	calculado a partir da DBO	1
Químicas I - D			
DBO.100/O ₂	%	calculado a partir do O ₂ inicial e da DBO ₅	0,1
O ₂ .100/DQO	%	calculado a partir do O ₂ inicial e da DQO	0,1
DBO.100/DQO	%	calculado a partir do O ₂ inicial e da DBO ₅ e da DQO	0,1
O ₂ .100/(DBO+DQO)	%	calculado a partir do O ₂ inicial e da DBO ₅ e da DQO	0,1
Carbono inorgânico	mg/L	calculado a partir do CO ₂ total	0,05
Carbono orgânico total (quimicamente oxidado)	mg/L	calculado a partir da DQO	0,05
Carbono total	mg/L	calculado a partir do C orgânico e inorgânico	0,05
Carbono orgânico refratário	mg/L	C orgânico subtraído do C bioquimicamente oxidado	0,05
Químicas II			
Sistema tampão			
Gás carbônico livre	mg/L	titulação potenciométrica com NaOH	0,05
Gás carbônico total	mg/L	titulação potenciométrica com HCl	0,05
Alcalinidade	meq	titulação potenciométrica com NaOH e HCl	0,001
Alcalinidade de bicarbonatos	HCO ₃ ⁻ /L	titulação potenciométrica com NaOH e HCl	0,05
Dureza	CaCO ₃ /mg/L	calculado a partir das concentrações de Ca e Mg	0,05
Dureza devido ao cálcio e magnésio	d° Ca,Mg	calculado a partir das concentrações de Ca e Mg	0,05
Químicas			
Íons principais			
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	mg/L	espectroscopia / absorção atômica	0,01
Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻	mg/L	espectroscopia / absorção atômica	0,01

VARIÁVEIS	Unidade	Método / Equipamento	Deteção
Químicas IV			
Nutrientes inorgânicos e suas frações			
Nitrogênio amoniacal	mg/L	espectrofotometria por Nessler	0,001
Nitrito	mg/L	espectrofotométrico por Diazotação	0,001
Nitrato	mg/L	coluna Cd/espectrofotométrico	0,001
Nitrogênio inorgânico dissolvido	mg/L	espectrofotométrico	0,001
Nitrogênio total dissolvido	mg/L	digestão com persulfato / espectrofotométrico	0,001
Nitrogênio total	mg/L	digestão com persulfato / espectrofotométrico	0,001
Nitrogênio orgânico dissolvido	mg/L	espectrofotométrico	0,001
Nitrogênio orgânico total	mg/L	digestão com persulfato / espectrofotométrico	0,001
Nitrogênio particulado	mg/L	digestão com persulfato / espectrofotométrico	0,001
Ortofosfato	mg/L	espectrofotométrico	0,001
Fósforo total dissolvido	mg/L	digestão com persulfato / espectrofotométrico	0,001
Fósforo total	mg/L	digestão com persulfato / espectrofotométrico	0,001
Fósforo orgânico dissolvido	mg/L	espectrofotométrico	0,001
Fósforo orgânico total	mg/L	espectrofotométrico	0,001
Fósforo particulado	mg/L	digestão com persulfato / espectrofotométrico	0,001
Silicatos reativos	mg/L	molibdato de amônio / espectrofotométrico	0,001
Químicas V			
Ferro dissolvido	mg/L	fenantrolina / espectrofotométrico	0,0005
Ferro total	mg/L	fenantrolina / espectrofotométrico	0,001
Óleos e graxas	mg/L	gravimétrico: extração com n-hexano em Soxhlet	2
Químicas VI			
Elementos-traço e Biocidas			
Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn, Hg	µg/L	espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/OES)	0,0001

4.3.1.1 - Elementos-traço

Para determinação da presença de elementos-traço, foram analisadas as concentrações de Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn e Zn. Foram analisadas as matrizes água, sedimento e macrófitas. Para a análise em água, em cada estação foram coletados 500 mL de água em frascos de polietileno. Para a preservação foi adicionado ácido nítrico concentrado PA até o pH ficar inferior a 2. As amostras de sedimentos foram mantidas refrigeradas e as macrófitas foram lavadas e secas até o momento da análise. As amostras foram enviadas ao laboratório analítico no prazo de 10 dias. As análises foram feitas por Espectrofotometria de absorção atômica por chama (AA-400 Perkin Elmer) e Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP/MS). A quantificação de Mercúrio em sedimentos e macrófitas foram feitas por Espectrometria de Absorção Atômica por geração de vapor frio com sistema de injeção em fluxo (Flow Injection Mercury System - FIMS 400 - Perkin Elmer).

4.3.1.2 - Compostos orgânicos (Biocidas)

No sedimento foram analisadas as concentrações de HPAs e PCBs (Quadro 4-5) em 9 estações de coleta: Caripuna (CAR), Jaciparaná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02). Para análise em sedimentos foram amostrados 250g em frascos com septo com capacidade de 500 ml. As amostras foram mantidas refrigeradas até o momento da extração.

Quadro 4-5 - Lista de Compostos Orgânicos (biocidas) analisados no sedimento, com os respectivos limites de detecção e da Legislação CONAMA.

Lista de Compostos Orgânicos	Água			Sedimento			
	Unidade	LQ	Limite CONAMA 357/05	Unidade	LQ	Limite CONAMA 344/04	
			Classe 2			Nível 1	Nível 2
HPAs							
Benzo(a)antraceno	µg/L	0,05	0,05	µg/kg	0,38	31,7	385
Benzo(a)pireno	µg/L	0,05	0,05	µg/kg	0,38	31,9	782
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	0,05	0,05	µg/kg	0,38		
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	0,05	0,05	µg/kg	0,38		
Criseno	µg/L	0,05	0,05	µg/kg	0,38	57,1	862
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	0,05	0,05	µg/kg	0,38	6,22	135
Indeno (1, 2, 3, cd) pireno	µg/L	0,05	0,05	µg/kg	0,38		
PCBs							
PCBs - Bifenilas Policlorados	µg/L	0,001	0,001	µg/kg	2,61	34,1	277

As análises seguiram o protocolo extração líquido/líquido para cromatografia gasosa (SMEWW 6410B-Extraction Liquid/Liquid GC). As amostras de sedimento foram analisadas por Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM).

4.3.1.3 - Isótopos

As coletas para o fracionamento isotópico de ^{13}C e ^{15}N foram realizadas em 09 estações de amostragem: Caripuna (CAR), Jaciparaná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I 01), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02).

As amostras foram mantidas refrigeradas até o momento da análise. As análises foram feitas a partir da combustão das amostras sob fluxo contínuo de hélio em um analisador elementar (CHN) acoplado a espectrômetro de massa.

4.3.1.4 - Sedimentos

Os sedimentos superficiais foram coletados em 9 estações de amostragem: Caripuna (CAR), Jaciparaná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02). As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas com pegador de Van Veen modificado, com área de 0,37 m². Após a coleta, o material foi acondicionado em sacos de polietileno e mantido resfriado até o momento de preparação e análise das amostras em laboratório. Nas amostras de sedimento foi analisada granulometria (areia grossa, areia fina, silte, argila), cinzas, matéria orgânica, carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio total, sódio, potássio, cálcio, magnésio, elementos-traço (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn), HPAs e PCBs, além dos invertebrados bentônicos (detalhados no item 4.3.2.3 - Invertebrados bentônicos). O Quadro 4-6 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos necessários para realização das análises de sedimentos superficiais, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável a ser analisada.

Quadro 4-6 - Variáveis analisadas em sedimentos superficiais, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

Variáveis	Unidade	Método / Equipamento	Deteção
Sedimentos Superficiais			
Invertebrados bentônicos	ind/m ²	draga / contagem	SP
Granulometria (areia grossa, areia fina, silte, argila)	g/kg	difração a laser	0,01
Cinzas	% p/p	calcinação / gravimétrico	0,05
Matéria orgânica	% p/p	digestão / calcinação	0,05
Carbono orgânico	% p/p	combustão em forno IAC	0,05
Nitrogênio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Fósforo	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Sódio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Potássio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Cálcio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Magnésio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Al, Ba, Si, Sn	mg/kg	espectrômetro de massa	0,5
Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	mg/kg	espectrômetro de absorção atômica por chama	0,5
Hg	mg/kg	Espectrofotometria de absorção atômica com gerador de vapor frio	0,004
HPAs e PCBs	µg/kg	cromatografia gasosa/espectrometria de massa	0,5

Devido à ausência de legislação ambiental específica para análise da qualidade de sedimento, optou-se por utilizar como referência os valores preconizados pela Resolução CONAMA nº 344/2004, que dispõe sobre procedimentos para avaliação de material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras. Para efeito de comparação foram considerados os limites máximos estabelecidos pelo Nível 2, critério de qualidade definido pelo limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota.

4.3.2 - Variáveis bióticas

As técnicas de análise de amostras de água para análises biológicas seguiram os protocolos padronizados internacionalmente reconhecidos. O Quadro 4-7 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos necessários para realização das análises biológicas, assim como a unidade de medida e o limite de detecção do método para cada variável a ser analisada.

Quadro 4-7 - Variáveis biológicas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

VARIÁVEIS	Unidade	Método / Equipamento	Deteção
Biológicas			
Clorofila a (Chla)	µg/L	filtração / maceração / espectrofotométrico	0,1
Pigmentos totais (Pig tots)	µg/L	filtração / maceração / espectrofotométrico	0,1
Fitoplâncton (F)	ind/mL	coleta direta / rede de plâncton 20 µm / contagem	sp
Zooplâncton (Z)	ind/L	Bomba elétrica / rede de plâncton 68 µm / contagem	sp
Coliformes totais	NMP/100 mL	colimétrico - colilert / cultura	1,0
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	colimétrico - colilert / cultura	1,0
Cianotoxinas	µg/L	filtração / extração / cromatografia	0,001

4.3.2.1 - Fitoplâncton

A estrutura da comunidade fitoplanctônica foi avaliada a partir da composição, abundância e biovolume, através de amostras quantitativas e qualitativas obtidas coletadas na subsuperfície da coluna d'água e demais profundidades. Para análises quantitativas as amostras foram coletadas por passagem do frasco diretamente na subsuperfície ou coletada do meio da garrafa de Van Dorn nas profundidades determinadas. A não filtração possibilita a análise integral da fração fitoplanctônica, não sendo eliminada qualquer fração menor que um tamanho estabelecido de malha de rede de coleta. Para análises qualitativas as amostras foram coletadas por meio de rede de plâncton de 20 µm. As amostras foram preservadas em solução transeau e solução de lugol para as análises qualitativas e quantitativas, respectivamente. A quantificação das

populações foi feita pelo método de sedimentação de Uthermöhl (1958) com aumento de 400x ou 1000x em microscópio invertido. A identificação sistemática foi feita sempre que possível em nível de espécie, por análise comparativa com a literatura especializada e atualizada, com base nas características morfológicas e morfométricas das vidas vegetativa e reprodutiva. Com relação ao sistema de classificação das classes, foi adotado aquele estabelecido por Hoek (1997), exceto para diatomáceas (Round, 1990) e cianobactérias (Komárek e Anagnostidis, 1998).

Amostras qualitativas foram examinadas em microscópio Olympus BH2 equipado com câmera digital para captura de imagem (Image Pro Plus) a fim de observar características morfológicas necessárias à identificação das espécies e de documentar os táxons mais importantes. Com a finalidade de obter uma lista mais detalhada da biodiversidade fitoplanctônica, sobretudo das algas maiores, geralmente mais raras, as amostras qualitativas foram observadas em câmaras de sedimentação de 2 mL em microscópio invertido em dois transectos (longitudinal e transversal) em um aumento de 200x. As identificações foram feitas sempre que possível em nível de espécie, com base nas características morfológicas e morfométricas das vidas vegetativa e reprodutiva das populações, utilizando-se bibliografia atualizada e específica.

Os grandes grupos taxonômicos (cianobactérias= Cyanobacteria; criptofíceas= Cryptophyceae; dinoflagelados = Dinophyceae, diatomáceas = Bacillariophyceae, crisofíceas = Chrysophyceae; xantofíceas= Xanthophyceae; rafidofíceas = Raphidophyceae; euglenóides = Euglenophyceae; clorofíceas = Chlorophyceae; zignematofíceas = Zygnematophyceae e Oedogonifíceas = Oedogoniophyceae) foram identificados de acordo com os critérios estabelecidos por Hoek 1993, exceto para cianobactérias (Komárek & Anagnostidis 1999) e diatomáceas (Round et al. 1993).

Densidade Fitoplanctônica (ind.mL⁻¹)

Para determinação da abundância das populações fitoplanctônicas (ind mL⁻¹) as amostras foram colocadas em câmaras de sedimentação de 2 ou 10 mL, dependendo das concentrações de abioseston em relação às algas. O tempo de sedimentação foi de pelo menos três horas para cada centímetro de altura da câmara (Margalef, 1983). A enumeração dos organismos (células, colônias, filamentos) foi feita em campos aleatórios (Uhelinger, 1964) em microscópio invertido, marca Zeiss Oberkochen, modelo Axiovert. Os organismos foram enumerados, sempre que possível, em número suficiente para alcançar 100 indivíduos da espécie mais frequente, sendo o erro inferior a 20% (p<0,05; Lund *et al.* 1958). Quando não foi possível utilizar esse critério (amostras com algas escassas e detrito abundante), foram enumerados indivíduos em tantos

campos aleatórios quantos os necessários para que se estabilizasse o número de espécies adicionadas por campo (método da área mínima), a fim de garantir uma representatividade qualitativa mínima das espécies.

Biomassa Fitoplanctônica ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$)

A biomassa pode ser considerada uma medida mais eficiente de abundância, uma vez que existe uma grande variação de tamanho entre os organismos fitoplanctônicos e muitas vezes amostras com grande densidade de algas de pequenas dimensões apresentam menor biomassa, que amostras com reduzidas densidades de grandes algas. Além disso, ao contrário da análise de concentração de clorofila-a (estimativa de biomassa fitoplanctônica), a utilização do biovolume permite identificar as espécies ou grupos taxonômicos mais importantes em termos de biomassa.

A biomassa fitoplanctônica foi estimada através do calculado do biovolume, multiplicando-se as densidades de cada espécie pelo volume das algas, considerando-se as dimensões médias das espécies abundantes. O volume de cada célula foi calculado a partir de modelos geométricos aproximados à forma dos indivíduos como, esferas, cilindros, cones, paralelepípedos, pirâmides, elipsóides e outros (WETZEL & LINKENS, 1991). Considerando a equivalência entre biovolume e biomassa, no presente relatório os resultados estão expressos em biovolume.

Análise de cianotoxinas

O monitoramento de cianotoxinas ocorreu quando a densidade de cianobactérias foi superior a 50.000 células/ml nas áreas de recreação de contato primário e dessedentação de animais, pois não houve densidade de cianobactérias superior a 20.000 células/ml nas estações localizadas próximas aos pontos de captação de água para abastecimento doméstico, seguindo o critério estabelecido pelo item d, da condicionante 2.1 da LI n° 540/2008. Para esta análise foi coletado um litro de água bruta, a qual foi refrigerada até o momento da análise. As microcistinas, cilindrospermopsinas e saxitoxinas foram analisadas de acordo com protocolos internacionalmente reconhecidos. Cilindrospermopsinas por HPLC, microcistinas por método imunoenzimático (ELISA) Kit Microcistinas Beacon Analytical Systems e saxitoxinas por cromatografia, de acordo com OSHIMA, Y., 1995.

4.3.2.2 - Zooplâncton

Para análise da comunidade zooplanctônica as amostras foram obtidas com o auxílio de uma bomba elétrica, coletadas na subsuperfície e nas profundidades determinadas. Duzentos litros de água foram filtrados em uma rede de plâncton de 68 μm de abertura de malha utilizando bomba elétrica. O material coletado foi mantido em frascos de polietileno e fixado em solução de formaldeído a 4%, tamponado com carbonato de cálcio. No laboratório, as amostras foram concentradas em um volume conhecido.

A composição da comunidade zooplanctônica foi feita utilizando lâminas e lamínulas comuns, microscópio estereoscópico e microscópio óptico. Inicialmente, os espécimes de Cladocera e Copepoda foram fotografados em microscópio Zeiss Axiovert Plus 2, acoplados a um sistema de aquisição de imagens (AxioCam), dissecados e identificados até o menor nível taxonômico possível (a maioria em nível de espécies).

As densidades das espécies foram estimadas e expressas em indivíduos por metros cúbicos (ind.m^{-3}) por meio de contagem numérica em câmara de Sedgwick-Rafter, de alíquotas de 1,0 mL, obtidas com pipeta do tipo Hensel-Stempell.

Para as espécies pouco abundantes, que não ocorreram nas alíquotas ou ocorreram em densidades muito baixas, foi realizada a contagem de toda a amostra para obtenção de resultados acurados da riqueza de espécies. A riqueza de espécies foi dada pela pelo número de espécies presentes em cada amostra.

Biomassa Zooplanctônica

A biomassa zooplanctônica foi determinada a partir das equações de relação peso-comprimento dos indivíduos de acordo com as fórmulas de Bottrell et al. (2006). O peso seco foi obtido mediante as fórmulas disponíveis para os táxons específicos ou mais próximos, com base nas dimensões lineares obtidas para cada espécie presente nas amostras. Estes dados foram utilizados para o cálculo da biomassa, para os Cladocera e os Copepoda. No caso dos Rotifera, para algumas espécies em que não havia indivíduos suficientes para as determinações de peso seco, o biovolume foi calculado utilizando-se as dimensões lineares e a equação para a forma geométrica mais adequada (cilindro, esfera, cone, oval, etc.).

A biomassa de cada espécie (B) foi estimada combinando-se o número de indivíduos (N) de uma classe de tamanho e sua massa média (\bar{M}) (Winberg e Duncan, 1971):

$$B = N \cdot \bar{M}$$

As equações da relação peso seco-comprimento foram elaboradas a partir das transformações dos valores do comprimento (variável independente) e peso (variável dependente), em logaritmo natural, expressas a partir da seguinte equação (Mc Cauley, 1984):

$$\ln w = \ln a + b \cdot \ln L$$

Onde:

$\ln w$ = logaritmo natural do peso seco (μg)

$\ln a$ = estimativa da intercepção,

b = estimativa da inclinação da reta,

$\ln L$ = comprimento médio dos indivíduos da amostra

$\ln L$ = é calculado como a média das medidas do comprimento, transformado a logaritmo (L em mm).

Para estimar a precisão do calculado da biomassa de uma população foi necessário calcular o coeficiente de variação. Como a biomassa (B) foi estimada a partir das duas variáveis, número de indivíduos (N) e a massa média (\bar{M}), esta precisão pode ser estimada pelo coeficiente de variação ($CVB = S/B$), onde S: desvio padrão e \bar{B} : biomassa média, a partir da seguinte equação:

$$CVB = (CVN \times 2 + CVM \times 2) \times 0,5$$

Onde:

CVN e CVM = os respectivos coeficientes de variação (Colquhoun, 1971 cit. em Mc Cauley, 1984) de N (número de indivíduos) e \bar{M} (massa média).

É importante trabalhar com réplicas suficientes a fim de obter um CVB de 0,15 quando possível (Mc Cauley, 1984). Dessa maneira, foi possível ainda usar esta equação para discutir e decidir sobre os relativos méritos das diferentes técnicas de pesagem e contagem de organismos, de acordo com o CVN e CVM de cada técnica foi possível decidir qual destas técnicas usar para um CVB pretendido.

4.3.2.3 - Invertebrados bentônicos

Para caracterização dos invertebrados bentônicos foram analisadas as amostras de sedimentos coletadas, em triplicata, em 09 estações: Caripuna (CAR), Jaciparaná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02).

As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas com pegador tipo Van Veen de 0,37 m² de área amostral. O material coletado foi fixado em formol a 4%, acondicionado em recipientes plásticos e transportado para o laboratório, onde foi lavado em água sobre peneira com malha de 0,21 mm. Os animais retidos na peneira foram separados e fixados em álcool 70% para posterior identificação.

Os invertebrados bentônicos foram identificados sob microscópio estereoscópico e composto, com o auxílio de literatura especializada: McCafferty, 1981; Brinkhurst & Marchese, 1989; Trivinho-Strixino & Strixino, 1995; Merritt & Cummins, 1996; Simone, 2006, além de consultas a especialistas.

A identificação dos organismos foi feita no menor nível taxonômico possível. Ocorre que boa parte dos organismos bentônicos estão presentes no sedimento somente em sua fase larval (e.g.: Diptera, Chironomidae, Coleoptera, Ephemeroptera, Trichoptera). As estruturas para identificação desses invertebrados ao nível taxonômico de espécie são encontradas somente na fase adulta. A identificação ao nível de gênero é a mais detalhada que se pode chegar para a maioria dos grupos presentes na fauna bentônica, com indisponibilidade na literatura sequer de chaves de identificação para o nível de espécie. Amostras de organismos triados foram enviadas para especialistas, no Brasil e exterior, para detalhamento taxonômico de alguns grupos. No presente relatório a maior parte dos organismos foi identificada ao nível de gênero.

Os organismos coletados, depois de identificados ao menor nível taxonômico possível, foram classificados de acordo com o grupo de alimentação funcional (GAF) e hábitos de vida baseando-se em Resh & Rosenberg (1984), Merritt & Cummins (1988), Hauer & Lamberti (1996), Baptista ET al. (1998), Callisto et al. (2000) e Baptista et al. (2001). Os Grupos de alimentação funcional e hábitos dos organismos (GAF) a serem considerados são: predador (perfurador ou engolfador), coletor (filtrador ou reunidor), triturador e raspador. Os hábitos são: escavador (vive em tocas ou semi-enterrado), agarrador (aderido a folhas ou rochas), nadador (organismos nécto-bentônicos) e caminhador (percorre o sedimento ou as rochas sem escavá-las).

Quanto ao uso potencial dos invertebrados bentônicos como bioindicadores, segundo Barbosa e colaboradores (2001), esses organismos podem ser classificados em três grupos: sensíveis (altamente suscetíveis a qualquer tipo de impacto); tolerantes (suportam impactos em níveis não tão altos, são capazes de se adaptarem às novas condições e refletem a resiliência do ecossistema) e resistentes (suportam grandes impactos).

4.3.2.4 - Macrófitas aquáticas

A análise da composição e estrutura da comunidade de macrófitas foi feita através do rastreamento em campo dos estandes nas localidades próximas às estabelecidas pelo Programa de Monitoramento Limnológico. Uma vez detectada a ocorrência dos estandes, foi determinada a área ocupada pelas macrófitas por meio de telêmetro e estimativa visual. As amostras quantitativas de macrófitas aquáticas foram coletadas em triplicata através de um quadrado de 1 m² de área (1 m x 1 m). Foram coletadas amostras qualitativas para identificação e herborização, além de alíquotas para a determinação da composição e de elementos traço. No laboratório as amostras quantitativas foram secas em estufa para a determinação do peso seco.

Para execução do monitoramento da macrófitas aquáticas foram mensuradas a composição das comunidades de macrófitas (lista de espécies por estande), a frequência de ocorrência de cada espécie na comunidade (% de parcelas em que cada espécie ocorreu), a biomassa de cada espécie presente na comunidade e sua dominância.

O Quadro 4-8 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos necessários para realização das análises em macrófitas aquáticas, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável analisada.

Quadro 4-8 - Variáveis analisadas em macrófitas aquáticas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

VARIÁVEIS	Unidade	Método / Equipamento	Deteção
Macrófitas Aquáticas			
Identificação	sp	chaves	1
Cinzas	% p/p	calcinação	0,05
Matéria orgânica	% p/p	digestão / calcinação	0,05
Carbono orgânico	% p/p	combustão em forno- IAC	0,05
Sódio	mg/kg	digestão / espectrometria de massa	0,5
Potássio	mg/kg	digestão / espectrometria de massa	0,5
Cálcio	mg/kg	digestão / espectrometria de massa	0,5
Magnésio	mg/kg	digestão / espectrometria de massa	0,5
Al, Ba, Si, Sn	mg/kg	digestão / espectrometria de massa	0,5
Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn		digestão / espectrômetro de absorção atômica por chama	
Hg		digestão / espectrômetro de absorção atômica com gerador vapor a frio	

A escala de abundância de Domin-Krajina foi utilizada para estimativa de cobertura de macrófitas (1=<20; 2= 21-40; 3=31-60; 4=61-80; 5=81-100% cobertura). A riqueza de espécies de macrófitas aquáticas foi estimada através dos índices não-paramétricos Jackknife e Chao 2 através do programa Stimates (Colwell 1997). Estes índices levam em consideração a ausência/presença das espécies e o número de espécies observado nos sítios de amostragem.

As equações utilizadas são descritas a seguir:

Estimador Jackknife de primeira ordem

$$S_{jack1} = S_{obs} + Q1 \left(\frac{m-1}{m} \right)$$

Onde:

- S_{obs} = número de espécies observado em todos os sítios de amostragem;
- Q1 = número de espécies amostrado em apenas um sítio de amostragem (espécies raras)
- m = número total de sítios de amostragem

Estimador Chao2

$$S_{chao2} = S_{obs} + \frac{Q1^2}{2Q2}$$

Onde:

- Q2 = número de espécies amostradas em dois pontos

A análise multivariada das variáveis físicas e químicas mais importantes na distribuição das famílias de macrófitas, além da composição e elementos traço foi feita através Análise de Correspondência Canônica (CCA).

4.4 - ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados de todos os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados foram apresentados na forma de gráficos, textos e tabelas. Foram feitas discussões em torno da variação espaço-temporal das estações do rio Madeira, dos tributários e dos lagos e canais. Além disso, foi feita a média e o desvio padrão para cada variável nessas três categorias de ambientes, e, quando cabível, todos os parâmetros foram comparados com seus respectivos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para água doce de Classe 2, destacando as estações que apresentarem valores fora dos valores previstos nesta resolução.

O estado trófico de cada uma das estações foi definido usando-se o Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson (1977) e modificado por Lamparelli (2004). Neste índice, são levadas em consideração as concentrações de clorofila a e de fósforo total, havendo distinção na fórmula para calcular o IET para rios e para reservatórios. Dentre as estações amostradas, as do rio Madeira e dos tributários foram enquadradas dentro de rios, ao passo que as estações dos lagos e dos canais marginais foram enquadradas em reservatórios. As fórmulas usadas estão expressas a seguir:

Rios

$$IET(CL) = 10 \times \left(6 - \frac{0,7 - 0,6 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right) - 20$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{0,42 - 0,36 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right) - 20$$

Reservatórios

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

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

Onde:

PT = concentração de fósforo total em $\mu\text{g.L}^{-1}$

CL = concentração de clorofila em $\mu\text{g.L}^{-1}$

Ln = logaritmo natural

O resultado do IET é a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e à clorofila a, segundo a equação:

$$IET = \left[\frac{IET(PT) + IET(CL)}{2} \right]$$

O critério usado para a classificação da trofia dos ambientes amostrados foi o seguinte:

Estado Trófico	Critério	P-total (mg PO ₄ ⁻³ .m ⁻³)	Clorofila a – (mg.m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET <47	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET <52	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET <59	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET <63	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET <67	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET >67	233 < P	69,05 < CL

Para classificação da qualidade da água das estações amostradas foi utilizado o Índice de Qualidade da Água (IQA), desenvolvido pela *American National Sanitation Foundation* e adaptado pela CETESB. O IQA é determinado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, turbidez, sólidos totais, nitrogênio total, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e temperatura. Vale destacar que, para efeito de cálculo do IQA para as estações amostradas, os coliformes fecais da fórmula foram substituídos pelos dados de *Escherichia coli*. Cada parâmetro possui um peso e um valor de qualidade correspondente, definido a partir de uma curva média de variação de qualidade. Os cálculos usados para calcular o IQA estão explicitados a seguir:

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

Onde:

qi = qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida;

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que o somatório de todos os wi é igual a 1.

O IQA varia em uma escala de 0 a 100, como é mostrado a seguir:

- Ótima 79 < IQA ≤ 100
- Boa 51 < IQA ≤ 79
- Regular 36 < IQA ≤ 51
- Ruim 19 < IQA ≤ 36
- Péssima IQA ≤ 19

4.4.1 - Análises biológicas

Todos os organismos coletados, zooplâncton, fitoplâncton, bentos e macrófitas aquáticas foram objeto das análises descritas a seguir.

4.4.1.1 - Riqueza de espécies

Foi considerada a riqueza simples (S), ou seja, o número de taxa por campanha por estação de coleta.

4.4.1.2 - Densidade de organismos

As densidades de organismos foram calculadas em relação ao volume (fitoplâncton - ind/mL; zooplâncton - ind/L) ou área (invertebrados bentônicos e macrófitas - ind/m²) nas estações de coleta.

4.4.1.3 - Frequência de ocorrência

A frequência de ocorrência das espécies foi calculada segundo Dajoz (1983), levando-se em consideração o número de amostras onde o organismo ocorreu, em relação ao número total das amostras coletadas (em porcentagem), de acordo com a fórmula a seguir:

$$Fo = Ta \times \frac{100}{TA}$$

Onde:

Ta = n° de amostragem em que o táxon ocorreu

TA = n° total de amostragem relacionada

Foram consideradas as seguintes categorias:

- Muito Frequentes: $F_o > 70$
- Frequentes: $40 < F_o \leq 70$
- Pouco Frequentes: $20 < F_o \leq 40$
- Esporádicas: $F_o \leq 20$

4.4.1.4 - Abundância específica e abundância relativa

A abundância foi usada para comparações entre diversos taxa e para a obtenção de padrões de distribuição de um táxon e/ou família e/ou espécie. Foi obtida através do número de indivíduos da espécie numa amostra específica ou pelo percentual do número de indivíduos da espécie em relação ao total de indivíduos da amostra.

A abundância relativa (Ar) foi calculada de acordo com a fórmula:

$$Ar = Ni \times \frac{100}{Na}$$

Onde:

Ar = Abundância relativa (%)

Ni = n° total de organismos de cada táxon em cada estação

Na = n° total de organismos na amostra da estação

Os resultados foram enquadrados nas seguintes categorias:

- Raras $Ar < 10\%$
- Pouco Abundantes $10 \leq Ar < 40\%$
- Abundantes $40 \leq Ar < 70$
- Dominantes $Ar \geq 70\%$

4.4.1.5 - Índice de diversidade específica e equidade

Diversidade de espécies é uma função do número de espécies de uma amostra, coleção ou comunidade (riqueza) e da distribuição dos indivíduos entre essas espécies (equidade, equitabilidade ou evenness). O índice utilizado para calcular a diversidade de espécies foi o de Shannon (Shannon & Weaver, 1949) através da fórmula:

$$H' = -\sum p_i \log^2 p_i$$

Onde:
 $p_i = n_i / N$
 $n_i =$ nº total de indivíduos por espécie
 $N =$ nº total de indivíduos

O resultado é dado em bit/ind, considerando:

- Diversidade alta $H > 3,0$
- Diversidade média $2,0 < H \leq 3,0$
- Diversidade baixa $1,0 < H \leq 2,0$
- Diversidade muito baixa $H \leq 1,0$

A equidade foi calculada através da fórmula:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Onde:
 $H' =$ índice de Shannon
 $S =$ número total de espécies

O resultado varia entre 0 e 1, sendo os valores $>0,5$ aqueles em que indivíduos estão bem distribuídos nas espécies.

4.4.1.6 - Diversidade alfa, beta e gama

Para avaliar as diversidades alfa, beta e gama foram consideradas somente as amostras quantitativas, devido à comparabilidade metodológica no esforço de quantificação e identificação das comunidades. Para diversidade beta foi apresentada análise espacial em todos os relatórios. A análise sazonal foi feita nos relatórios consolidados e a interanual após o segundo ano de monitoramento. A diversidade regional (gama diversidade) foi avaliada através da composição

(total de táxons presentes em todas as amostras). A diversidade local (alfa diversidade) foi estimada através da riqueza específica em cada estação, da diversidade específica e da equitabilidade.

A diversidade beta, que informa quão heterogêneo é o grupo de estações amostradas em relação à riqueza de espécies, foi estimada a partir do índice B-1 de Harrinson *et al.* (1982) conforme expresso a seguir:

$$\beta - 1 = \left[\frac{\left(\frac{Y}{\alpha \text{ med}} \right) - 1}{N - 1} \right] \times 100$$

Onde:

- B-1= taxa de intercâmbio de espécies
- Y = gama diversidade
- α med = riqueza de espécies média entre os sistemas
- N = número de sistemas

4.4.1.7 - Dominância

Índice de dominância (ROSEMBERG & RESH, 1993) foi representado pelo maior valor de abundância relativa (n_i/N) da amostra.

$$DOM = \frac{n_i}{N}$$

Onde:

- n_i = densidade do táxon i
- N = densidade total

4.4.2 - Análise estatística

Os dados abióticos e bióticos obtidos neste monitoramento foram analisados por meio de testes estatísticos com análises multivariadas. Análises de Componentes Principais (ACP) foram usadas com a finalidade de identificar gradientes nas variações espaciais e/ou temporais das variáveis físicas e químicas da água em relação às amostras de cada compartimento (PC-Ord 5.1, Mc Cune & Mefford 1999). As variáveis zona eufótica (Zeu), temperatura da água (T. água), turbidez (turb.), condutividade (Cond), pH, dióxido de carbono livre (CO_2), sólidos totais dissolvidos (STD), demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias (DBO5), demanda química de oxigênio (DQO), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio total (NT), fósforo total (PF), ferro dissolvido (FeD) e clorofila-a (Chl-a) foram consideradas nessas análises. Todas as variáveis foram transformadas em $\log_{10}(x+1)$ com exceção do pH. A significância das variáveis foi determinada pela distância de cada variável ao centro do eixo: $d \geq \sqrt{2/n}$, onde n é o número de variáveis

(Legendre & Legendre 1998) e no caso do presente relatório $d \geq a \pm 0,34$. A significância dos eixos foi estimada de acordo com critério de Kaiser Gutham (autovalores >1.0) (Jackson 1993).

Para a comunidade fitoplanctônica, diferenças entre mais de dois grupos de sistemas foram determinadas usando teste Kruskal-Wallis. Se diferenças significativas ($p < 0.05$) foram encontradas, então teste post hoc Mann Whitney foi usado para identificar similaridades. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o programa Statview 5.0. Análises de Componentes Principais (ACP) foram usadas com a finalidade de identificar gradientes nas variações espaciais e/ou temporais das condições físicas e químicas da água e do fitoplâncton em relação às amostras de cada compartimento (PC-Ord 5.1, Mc Cune & Mefford 1999). Biovolume total fitoplanctônico (biovolume), temperatura da água (T. água), oxigênio dissolvido (OD), condutividade (Cond), dióxido de carbono livre (CO₂), nitrato (NNO-3), íon amônio (NNH₄), sólidos em suspensão (SS), profundidade máxima (zmáx),) fósforo solúvel reativo (SRP) e DBO 5= demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias foram as variáveis consideradas nessas análises. Todas as variáveis foram transformadas em $\text{Log}_{10}(x+1)$ com exceção do pH. A significância das variáveis foi determinada pela distância de cada variável ao centro do eixo: $d \geq \sqrt{2/n}$, onde n é o número de variáveis (LEGENDRE & LEGENDRE 1998) e no caso do presente relatório $d=0,42$. A significância dos eixos foi estimada de acordo com critério de Kaiser Gutham (autovalores >1.0) (Jackson 1993).

As comunidades de zooplâncton, invertebrados bentônicos e macrófitas aquáticas foram submetidas a testes estatísticos de Análise de Correspondência Canônica (CCA). O zooplâncton foi analisado em relação às variáveis ambientais medidas na água, em todas as estações amostradas; os invertebrados bentônicos com as variáveis medidas no sedimento e as macrófitas com as variáveis limnológicas medidas na água e os metais quantificados nas plantas.

4.5 - MONITORAMENTO EM TEMPO REAL E VARIAÇÃO NICTEMERAL

Duas estações de monitoramento da qualidade da água em tempo real foram instaladas próximas às margens do rio Madeira a montante e a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio, atualmente local do canteiro de obras da Usina Hidroelétrica de Santo Antônio. A estação de montante fica baseada em uma plataforma localizada próxima a margem direita, no limite do canteiro de obras (63° 58' 5,06" W / 8° 49' 52,49" S - SAD69), e a de jusante fica na plataforma de captação de estação de tratamento de água do canteiro próximo à margem esquerda (63° 55' 37,57" W / 8° 46' 49,98" S - SAD69).

As variáveis analisadas na subsuperfície foram temperatura, condutividade, pH, oxigênio dissolvido e turbidez. Os resultados obtidos a cada 30 minutos foram armazenados em “datalogger” e acessados por telefonia celular a partir de um computador portátil.

Foram utilizadas alternadamente quatro sondas multiparâmetros nas estações de montante e jusante, sendo duas utilizadas no monitoramento e duas em manutenção e calibração. Os modelos utilizados foram YSI 6820 v2 e YSI 6920 v2 com sensor ótico de oxigênio dissolvido e YSI 6820 v1 e YSI 6600 com sensor de oxigênio polarográfico de pulso rápido. As aferições e calibrações foram feitas em média com frequência quinzenal.

Foram apresentados os resultados de 604 dias de monitoramento compreendendo o período de 23/01/10 a 19/09/11. Problemas de diversas naturezas como comunicação com a sonda, manutenção e hardware impediram a obtenção dos dados da estação de montante durante um total de 30 dias (5 % dos dias monitorados) e da estação de jusante durante 60 dias alternados (9,9 % dos dias monitorados). Os ruídos das leituras (“outliers”) de condutividade, oxigênio, pH e turbidez foram suprimidos com base no critério de variação de 4 vezes superior ao desvio padrão. Para as variáveis que, após a remoção dos “outliers”, continuaram apresentando ruído elevado durante alguns períodos, como a turbidez da estação de montante e oxigênio dissolvido e pH de jusante, foi utilizado filtro da média móvel de 2 horas para supressão dos sinais não relacionados às leituras reais.