

PROGRAMA DE MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO – UHE CANA BRAVA



Tractebel Energia
GDF SVEZ

**Relatório Técnico Referente à
Campanha de Monitoramento
- Dezembro de 2011**

EQUIPE TÉCNICA

Coordenadora do projeto

Bióloga M.Sc. Juliana Machado do Couto Curti
CRBio nº 30921/D

Trabalhos de campo e laboratório

Bióloga Dra. Priscilla de Carvalho
Bióloga Esp. Kátia Bittar Haddad
Biólogo M.Sc. Leonardo de Assis Ítalo
Biólogo Wagner Batista Xavier
Biólogo Paulício Maconi Filho
Bióloga Lívia Ferreira e Silva
Químico Brunno Misofante da Silva Gomides
Téc. Aline Caetano Luz
Biólogo Dr. Luiz Felipe Machado-Velho (Zooplâncton)
Bióloga Dra. Luzia Cleide Rodrigues (Fitoplâncton)
Bióloga M.Sc. Carolina Bussadori Piva (Zoobentos)

Sumário

1. Introdução	01
2. Resumo Executivo	01
3. Objetivos específicos do relatório	03
4. Descrição da Coleta	03
5. Coleta e Análise dos Parâmetros Físicos, Químicos e Bacteriológicos	04
6. Resultados e Discussão	06
6.1. Variáveis Abióticas e Bacteriológicas	06
6.2. Índice de Qualidade da Água (IQA)	27
7. Considerações Finais	30
8. Próximas Atividades	30
9. Referências	31
ANEXO I – Resultados obtidos no monitoramento realizado em dezembro de 2011	32

1. Introdução

A transformação de um trecho de rio em reservatório desencadeia uma série de processos biogeoquímicos, que resultam em interferências nas características do ambiente aquático, destacando-se a instabilidade física e química e a alteração das comunidades biológicas.

Tais modificações constituem um forte impacto sobre os corpos aquáticos e, dependendo dos usos da bacia de drenagem, essas alterações podem levar a um alto grau de degradação destes reservatórios (Branco e Senna, 1994). Assim, os programas de monitoramento limnológico (que incluem as principais assembleias biológicas) são primordiais para a identificação e avaliação dos impactos ambientais causados por empreendimentos hidrelétricos.

O objetivo desse relatório é apresentar os resultados obtidos em dezembro de 2011, no monitoramento de 13 pontos localizados no reservatório da UHE Cana Brava.

2. Resumo Executivo

Características limnológicas

Considerando que as águas do sistema monitorado são enquadradas na classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, grande parte do trecho monitorado no reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011, apresentou resultados compatíveis com os limites preconizados pela referida resolução. As seguintes não conformidades foram observadas:

- concentração de fósforo total superior a 0,05 mg/L no ponto 5 (localizado no rio São Félix);
- densidade de coliformes termotolerantes superior a 1.000 NMP/100ml nos pontos 5 e 15 (jusante da barragem).

De maneira geral, em dezembro de 2011 o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com elevada transparência da água (baixos valores de turbidez), baixos valores de compostos

nitrogenados e fosfatados e DBO_5 , além de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido.

Destacam-se as elevadas concentrações de íons no ponto 22 (rio Bonito), que apresentou os maiores valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade e CO_2 total (medida indireta da concentração de carbono inorgânico total), além de elevadas concentrações de ferro total. Nesse mês, o ponto 5 (rio São Félix) também apresentou maiores concentrações de fósforo total (levemente superiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA; 0,066 mg/L) e densidade de coliformes termotolerantes, o que resultou no menor valor de IQA. No entanto, tal resultado não é preocupante, e pode ser considerado um caso esporádico, tendo em vista que esse local (rio São Félix) freqüentemente apresenta características limnológicas que correspondem aos limites preconizados pela Resolução CONAMA. Provavelmente, nesse mês, esse local foi fortemente influenciado pelo ambiente terrestre adjacente durante o período de chuvas.

Em suma, comparando com os demais meses monitorados em 2011, foi possível verificar que os maiores valores de turbidez, ferro total, orto-fosfato, fósforo total, nitrogênio total e densidade de coliformes, foram registradas durante o período de chuvas, onde ocorre maior escoamento superficial do ambiente terrestre para os sistema aquático.

Perfil vertical

Nesse mês, a análise do perfil vertical (coleta na superfície, meio e fundo) dos pontos localizados no interior do reservatório demonstrou similaridade nos valores dos parâmetros analisados entre as profundidades de coleta, como por exemplo, temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e nutrientes.

Além disso, considerando a análise detalhada do perfil vertical nos pontos 20 e 21, pode-se concluir que, nesse mês, a coluna da água no reservatório não apresentou estratificação térmica, tendo em vista a pequena diferença nos valores da temperatura da água entre o epilímnio e hipolímnio dos pontos monitorados. Além disso, a análise das concentrações de oxigênio dissolvido também demonstrou similaridade ao longo das profundidades

amostradas. De maneira geral, tais concentrações foram superiores a 5,0 mg/L ao longo de toda a coluna da água.

3. Objetivos específicos do relatório

O conteúdo deste Relatório Técnico inclui:

- (i) descrever os métodos analíticos que foram utilizados para determinação das variáveis físicas, químicas e bacteriológicas;
- (ii) apresentar os resultados obtidos em dezembro de 2011, em 13 pontos de monitoramento localizados no reservatório da UHE Cana Brava e, assim, contribuir com a caracterização limnológica deste trecho;
- (iii) comparar os resultados obtidos com os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para águas da Classe 2;

4. Descrição da Coleta

Foram coletadas amostras de água, destinadas à determinação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em 13 pontos de coleta ao longo do reservatório (**Tabela 1 e Figura 1**).

Tabela 1. Pontos de coleta selecionados para o monitoramento limnológico.

PONTO	LOCALIZAÇÃO	LONG.(W)	LAT.(S)	REFERENCIAL
1	Tocantins/Córrego Florêncio	48°09'09"	13° 46'23"	Montante
2	Rio Preto	48°03'36"	13°42'10"	Montante
5	Rio São Félix	48°06'27"	13°32'47"	Montante
6	Tocantins/ Foz São Félix	48°05'28"	13°32'47"	Montante
7	Rio Bonito	48°10'36"	13°29'09"	Montante
8	Córrego Varjão	48°12'05"	13°29'03"	Montante
10	Rio do Carmo	48° 02'46"	13°25'36"	Montante
15	Tocantins/Rio Cana Brava	48°09'56"	13°11'49"	Jusante
18	Praia de Minaçu - parte interna	48°12'37"	13°30'17"	Montante
19	Praia de Minaçu - parte externa	48°12'33"	13°29'53"	Montante
20	No meio do reservatório	48°09'33"	13°26'59"	Montante
21	Tocantins/Próximo à UHE Cana Brava	48°08'29"	13°24'24"	Montante
22	Rio Bonito (acima do ponto 7)	48°14'04"	13°33'03"	Montante

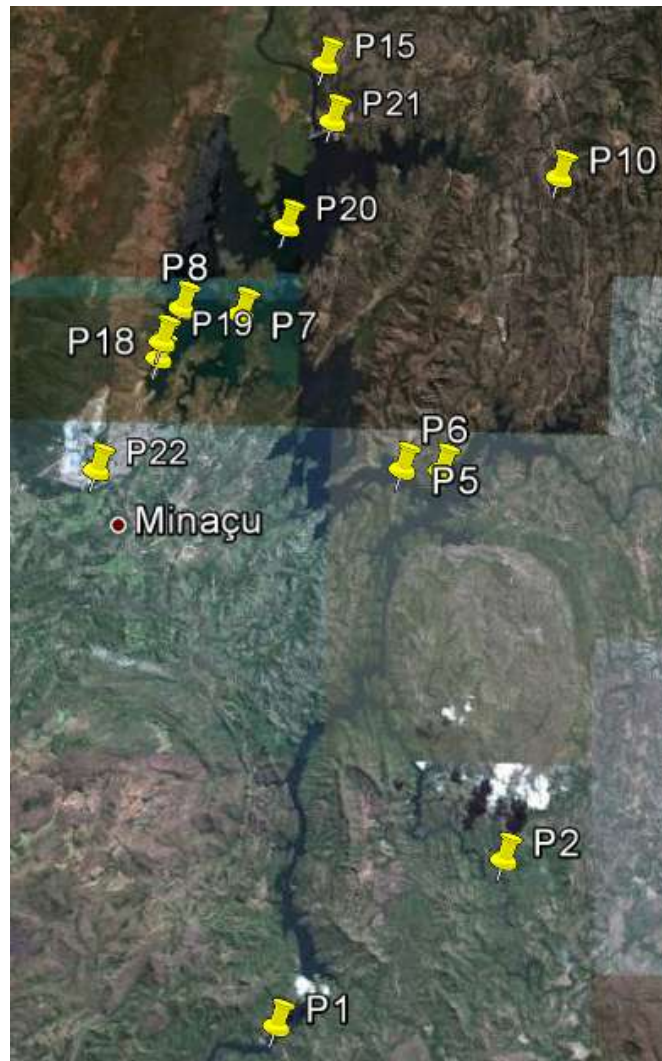


Figura 1. Pontos de coleta localizados na área de influência da UHE Cana Brava.

5. Coleta e Análise dos Parâmetros Físicos, Químicos e Bacteriológicos

Em campo, foram obtidos os valores de temperatura do ar (termômetro), pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura da água (utilizando uma sonda YSI 556). A turbidez foi obtida através de um turbidímetro digital Hach. A transparência da coluna da água foi mensurada através do disco de Secchi.

Amostras de água foram coletadas abaixo da superfície (aproximadamente 20 cm) com frascos de polietileno e acondicionadas em caixas de isopor com gelo. Parte das amostras foi filtrada em membranas Whatman GF/C. As amostras de água filtrada e não filtrada foram preservadas para posterior determinação das formas dissolvidas e totais de nitrogênio e fósforo. As amostras destinadas à análise laboratorial foram preservadas e

encaminhadas para o laboratório de limnologia situado na “Life – Projetos Limnológicos”, em Goiânia para realização das análises. As variáveis limnológicas foram determinadas utilizando os seguintes métodos e equipamentos:

- Alcalinidade: titulação com ácido sulfúrico;
- Cloreto: determinado através do método de cromato de potássio e espectrofotômetro (Método 4500-Cl⁻ B, Standard Methods, 2005);
- Coliformes totais, termotolerantes e *E. coli*: método dos tubos múltiplos;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅): consumo de oxigênio nas amostras durante uma incubação de 05 (cinco) dias, a uma temperatura constante de 20°C (Método 5210, Standard Methods, 2005);
- Ferro total: método da ortofenotrolina (Método 3500, Standard Methods, 2005);
- Fósforo total: determinado diretamente nas amostras não filtradas, sendo quantificado após a adição de reagente misto (molibdato de amônia, tartarato de antimônio e potássio e ácido ascórbico) e leitura em espectrofotômetro (882 nm);
- Orto-fosfato (fosfato solúvel reativo): determinado diretamente nas amostras filtradas, sendo quantificado após a adição de reagente misto (molibdato de amônia, tartarato de antimônio e potássio e ácido ascórbico) e leitura em espectrofotômetro (882 nm);
- Nitrato: método de redução do cádmion e leitura em espectrofotômetro a 400 nm (Método 4500-NO₃-E, Standard Methods, 2005);
- Nitrito: método colorimétrico onde o nitrito reage com o ácido sulfanílico, formando um composto que é determinado em espectrofotômetro a 507 nm (Método 4500-NO₂-B, Standard Methods, 2005);
- Nitrogênio amoniacal: método fenol, e posterior leitura em espectrofotômetro a 655 nm (Método 4500-NH₃ F, Standard Methods, 2005);
- Óleos e graxas: obtenção através de extração com um solvente (Hexano – 5520B, Standard Methods, 2005);
- Sulfato e Sulfeto: determinados através de espectrofotometria (Método 4500, Standard Methods, 2005).

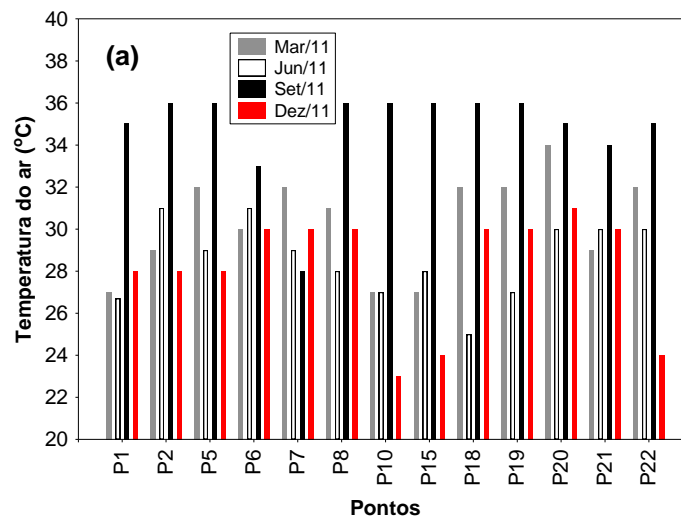
6. Resultados e Discussão

Os resultados referentes aos parâmetros físicos e químicos estão no Anexo I.

6.1. Variáveis Abióticas e Bacteriológicas

Em dezembro de 2011, os valores de temperatura do ar foram, em média, iguais a 28,2°C (**Figura 2a**). Os valores da temperatura da água variaram entre 22°C e 28°C (média igual a 25,9°C (**Figura 2b**)).

Considerando o perfil térmico dos pontos mais profundos, localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava (pontos 1, 6, 20 e 21), foi possível verificar que a maior diferença nos valores de temperatura entre a superfície e o hipolímnio (1,2°C) foi obtida no ponto 21 (local mais profundo – 27,6 metros; próximo à barragem), indicando ausência de estratificação térmica da coluna da água em dezembro de 2011 (**Figura 3**). Tal diferença também foi inferior àquela registrada em setembro de 2011, onde a maior diferença nos valores de temperatura entre a superfície e o hipolímnio foi igual a 2,0°C no ponto 21.



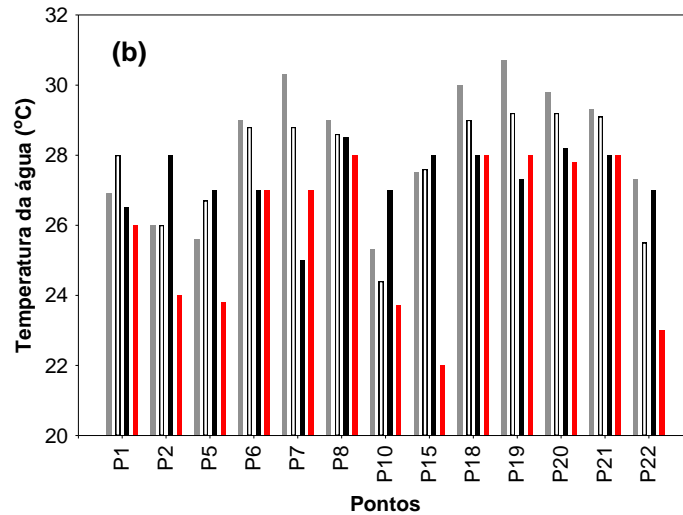


Figura 2. Valores de temperatura do ar (a) e temperatura da água (b) na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

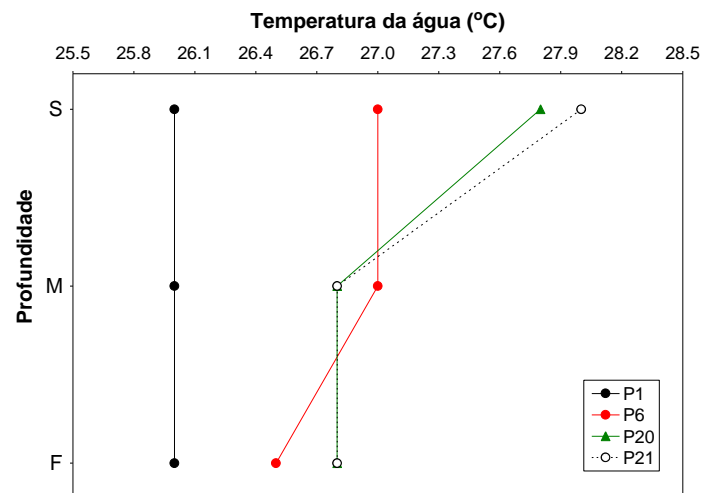


Figura 3. Perfil vertical da temperatura da água nos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011.

O oxigênio dissolvido é de essencial importância para os organismos aeróbicos. Sua disponibilidade no ambiente aquático depende de trocas com a atmosfera e da produção pelos organismos fotossintéticos, como fontes, e das demandas bioquímica (oxidação de matéria orgânica) e química (oxidação de íons como o ferro e o manganês), perdas para atmosfera (favorecidas pelo aquecimento da coluna d'água) e respiração de organismos aquáticos, como fenômeno de redução (Esteves, 1998).

Em dezembro, as concentrações deste gás na superfície da coluna da água variaram entre 5,0 mg/L (ponto 15 – jusante da barragem) e 8,9 mg/L (ponto 5 – rio São Félix) (**Figura 4a**). Assim, nesse mês, todos os locais

monitorados apresentaram concentrações de oxigênio superiores ao limite mínimo preconizado pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas da classe 2 (5,0 mg/L). A porcentagem de saturação de oxigênio também foi elevada na maior parte dos pontos de coleta (**Figura 4b**). De maneira geral, ao longo do ano de 2011, as maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram obtidas em março e dezembro de 2011 (média igual a 7,18 mg/L em março; 6,78 mg/L em junho; 6,86 mg/L em setembro e 7,07 mg/L em dezembro).

Em média, as menores concentrações desse gás foram registradas nas maiores profundidades de coleta (média igual a 6,9 mg/L na superfície; 5,5 mg/L no meio e 5,4 mg/L no fundo dos pontos de coleta) (**Figura 5a**). A análise do perfil vertical dos pontos 1, 6, 20 e 21 demonstrou concentrações de oxigênio abaixo de 5,0 mg/L somente no fundo do ponto 1 (23 metros; foz do córrego Florêncio) (**Figura 5a e 5b**).

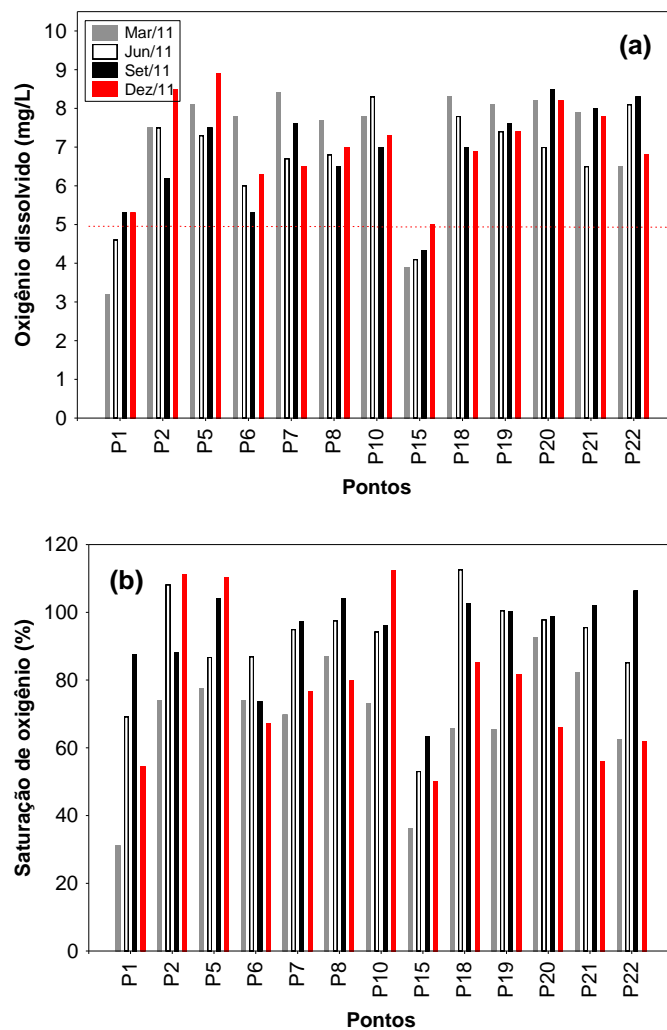


Figura 4. Concentrações de oxigênio dissolvido (a) e saturação de oxigênio (b) na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

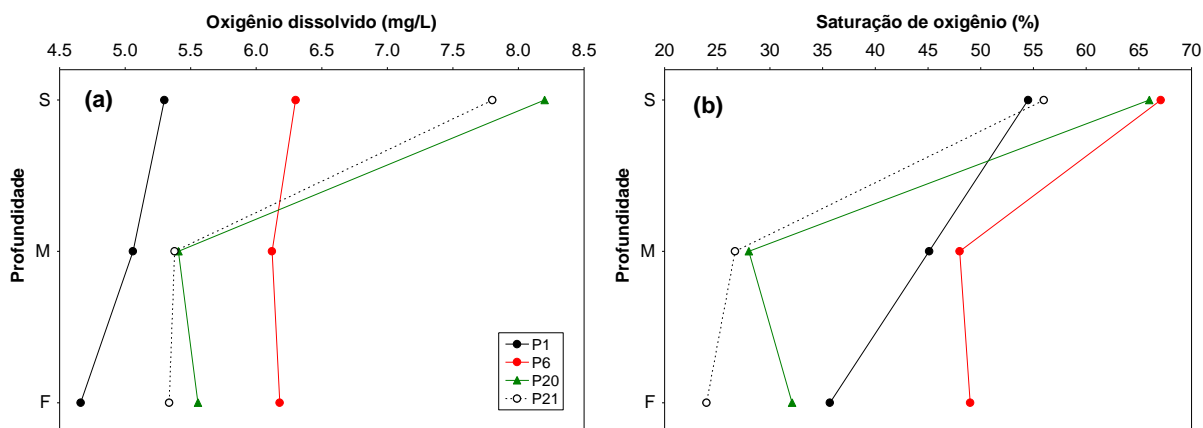


Figura 5. Perfil vertical das concentrações de oxigênio dissolvido (a) e saturação de oxigênio (b) nos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011.

Variáveis indicadoras de luminosidade subaquática

Em dezembro de 2011, o reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com elevada transparência da água. Nesse mês, a maior profundidade do disco de Secchi (maior transparência da água; 5,0 metros) foi registrada nos pontos 20 e 21, localizados no meio do reservatório e nas proximidades da barragem, respectivamente (**Figura 6a**). Em média, tais valores foram similares àqueles registrados em setembro de 2011, além disso, os maiores valores de transparência foram registrados em junho de 2011 (período de estiagem na região) (valores médios iguais a 2,4m em março; 3,13m em junho; 2,98m em setembro e 2,7m em dezembro).

De maneira similar, foram registrados baixos valores de turbidez, no trecho estudado, variando entre 1,0 NTU e 72,0 NTU (ponto 5 -rio São Félix) (**Figura 6b**). Assim, nesse mês, todos os locais monitorados apresentaram valores de turbidez inferiores ao limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (100 NTU). Ao longo do ano de 2011, somente dois locais apresentaram valores de turbidez superiores a 100 NTU (pontos 2 e 22, localizados no rio Preto e rio Bonito, respectivamente) em março de 2011. Além disso, não houve diferença significativa entre as profundidades de coleta (**Figura 7**), ou seja, também foram registrados baixos valores de turbidez no meio e fundo da coluna da água do reservatório.

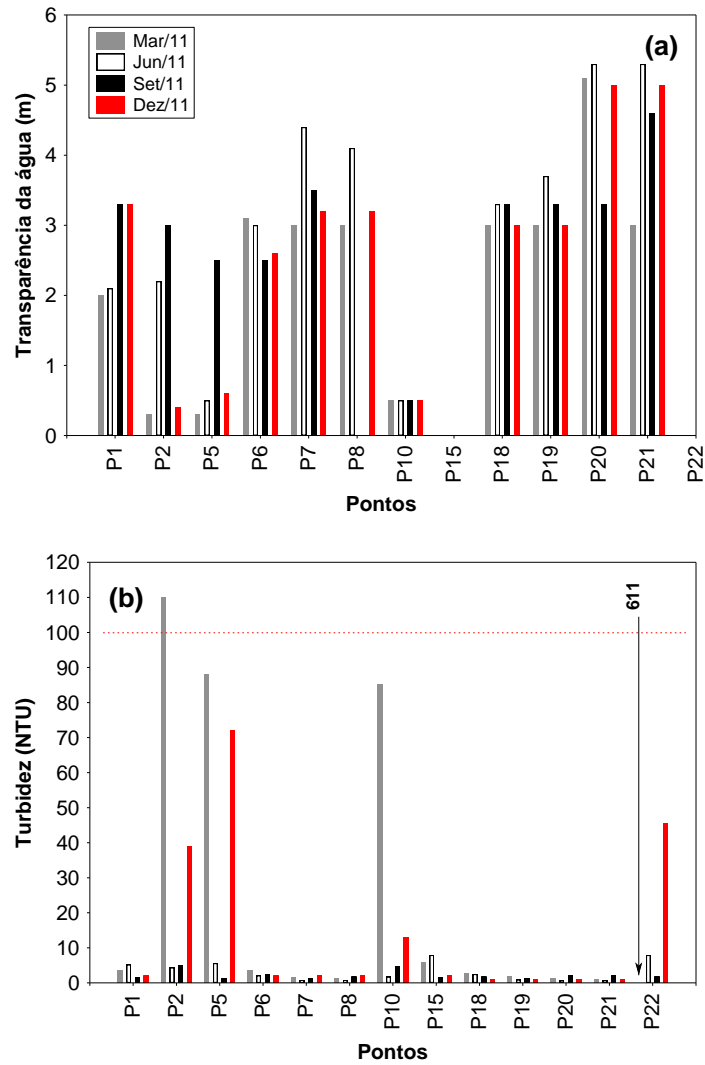


Figura 6. Valores de transparência da água (a) e turbidez (b) na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

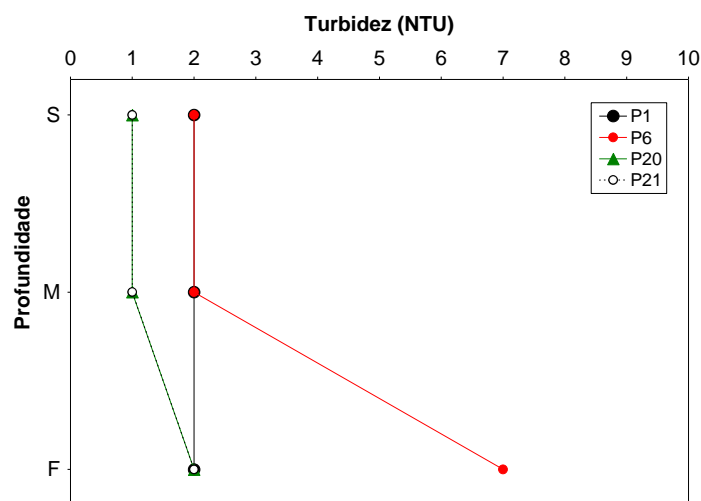


Figura 7. Perfil vertical dos valores de turbidez nos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011.

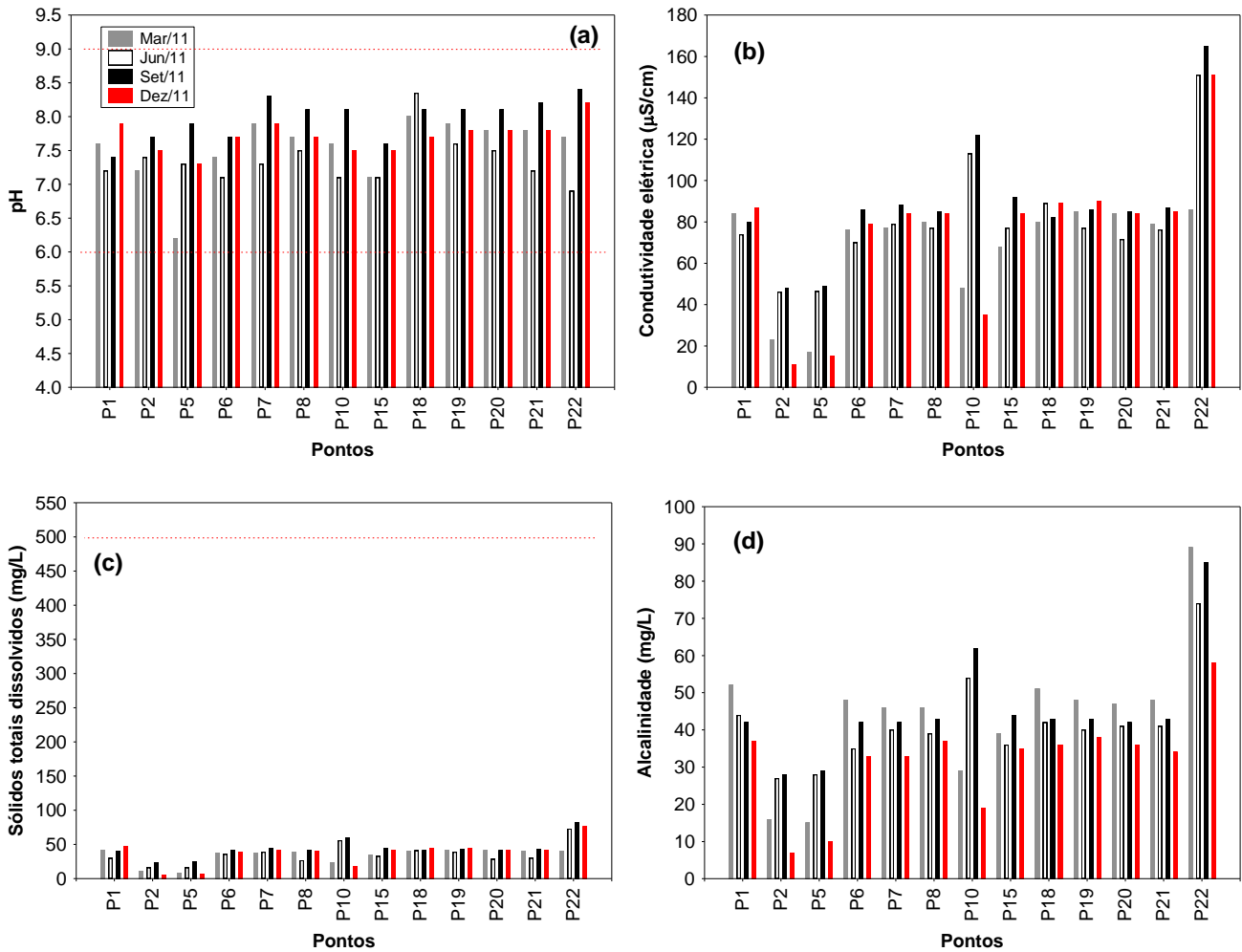
pH, condutividade elétrica, STD, alcalinidade e carbono inorgânico

Os valores do pH registrados variaram entre 7,3 e 8,2, estando assim, dentro dos limites preconizados pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (6,0-9,0) (**Figura 8a**). Ao longo de todo o período monitorado em 2011, todos os valores de pH estavam de acordo com a referida resolução. Além disso, em média, houve similaridade nos valores de pH mensurados na superfície, meio e fundo dos pontos de coleta (média igual a 7,8; 7,7 e 7,8, respectivamente) (**Figura 8a**).

Os valores de condutividade elétrica variaram entre 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ponto 2) e 151 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ponto 22- rio Bontio) (**Figura 8b**). De maneira geral, em 2011, os maiores valores de condutividade elétrica foram registrados em junho e setembro de 2011. Provavelmente, durante o período de chuvas ocorre a diluição dos íons na água. Resultado similar foi obtido considerando as concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD), que apresentou maiores valores em junho e setembro de 2011. Em dezembro, tais valores variaram entre 4,7 mg/L e 76 mg/L (ponto 22), sendo inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (500 mg/L) (**Figura 8c**). De fato, nesse mês, houve uma forte estrutura de correlação entre os valores de condutividade elétrica e STD ($r = 0,85$; $P < 0,001$).

A alcalinidade representa a capacidade de neutralização de ácidos apresentada por um ambiente aquático, e está associada à disponibilidade de carbonatos no meio (Esteves, 1998). Nesse mês, tais valores variaram entre 7 mg/L e 58 mg/L (ponto 22 – rio Bonito) (**Figura 8d**). Assim como observado para os valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade, a maior concentração de CO_2 total (medida indireta da concentração de carbono inorgânico total) também foi registrada no rio Bonito (ponto 22) (51,77 mg/L) (**Figura 8e**). Tais resultados demonstram a elevada concentração de íons, principalmente carbono inorgânico, nesse local. Além disso, em 2011, as menores concentrações de CO_2 total foram registradas no mês de dezembro, demonstrando a influência das chuvas na diluição desses íons. As concentrações de CO_2 livre variaram entre 0,44 mg/L e 2,21 mg/L (ponto 15 – jusante da barragem), corroborando com as baixas concentrações de oxigênio dissolvido nesse local (**Figura 8f**).

A análise do perfil vertical demonstrou similaridade nos valores de pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, CO₂ total e CO₂ livre (**Figura 9**). As maiores diferenças foram registradas no ponto 6 (local com maior profundidade; 33 metros), no entanto, tais diferenças não foram significativas.



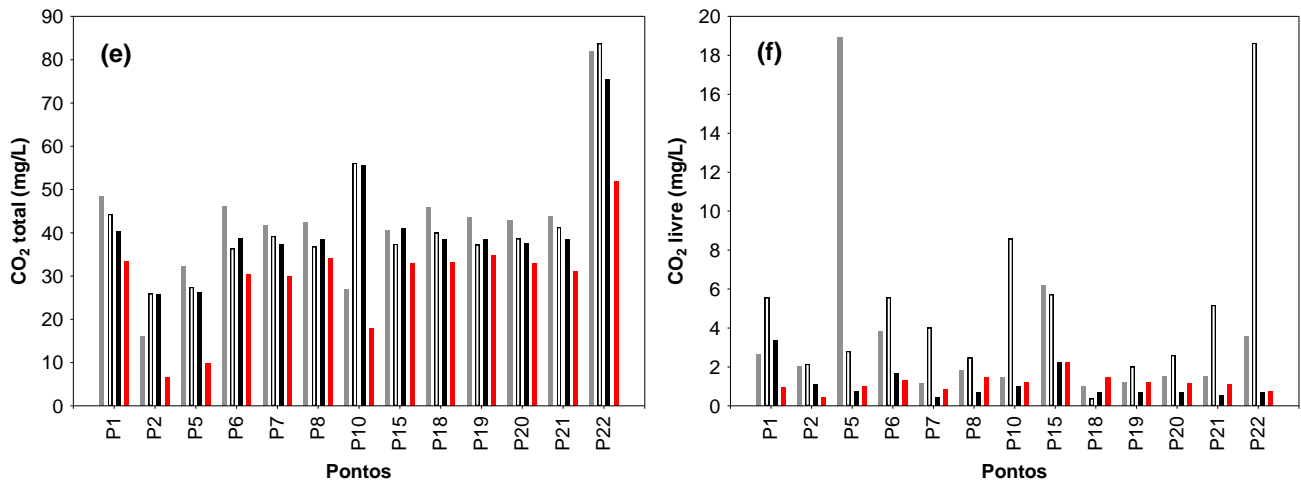
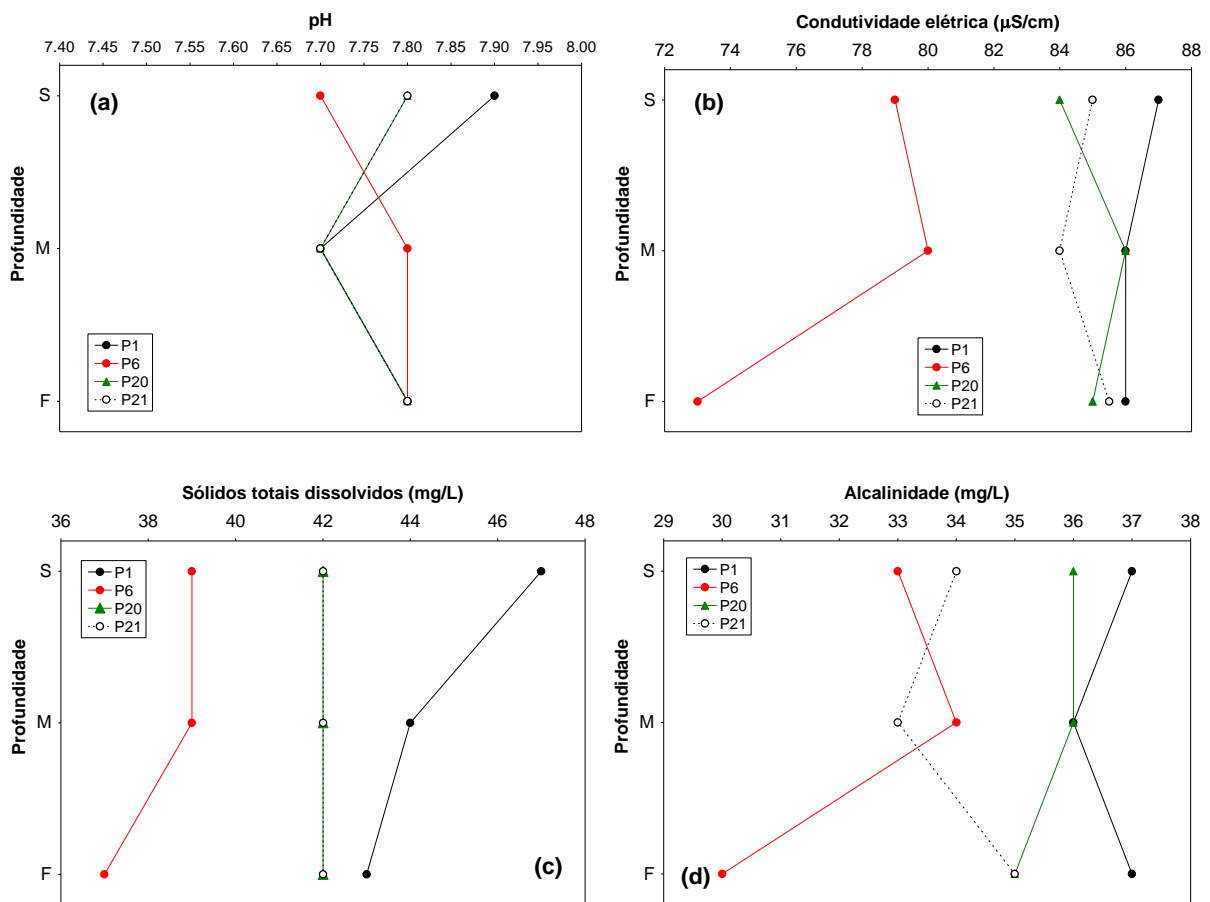


Figura 8. Valores de pH (a), condutividade elétrica (b), sólidos totais dissolvidos (STD; c), alcalinidade (d), CO₂ total (e) e CO₂ livre (f) na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.



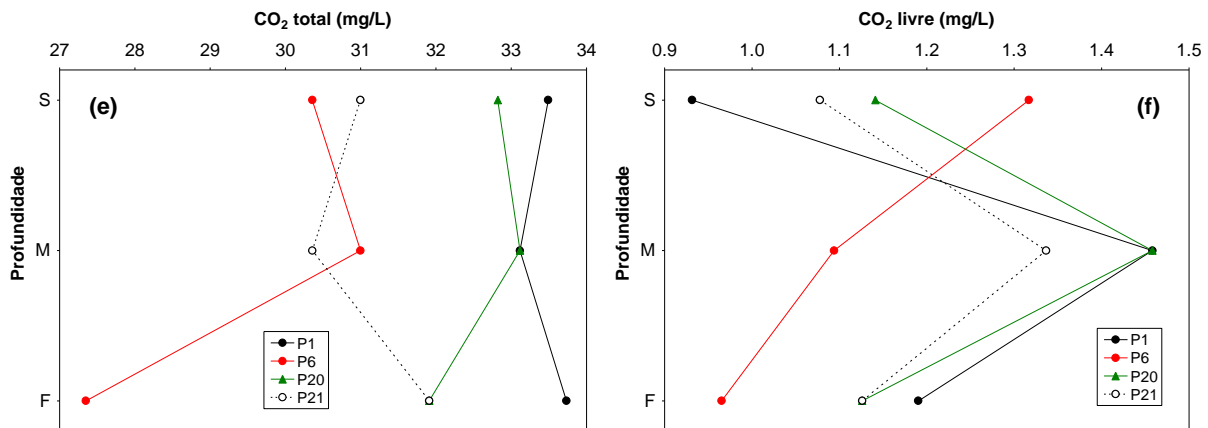


Figura 9. Perfil vertical dos valores de pH (a), condutividade elétrica (b), sólidos totais dissolvidos (STD; c), alcalinidade (d), CO₂ total (e) e CO₂ livre (f) nos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011

Cloreto, sulfato, sulfeto e ferro total

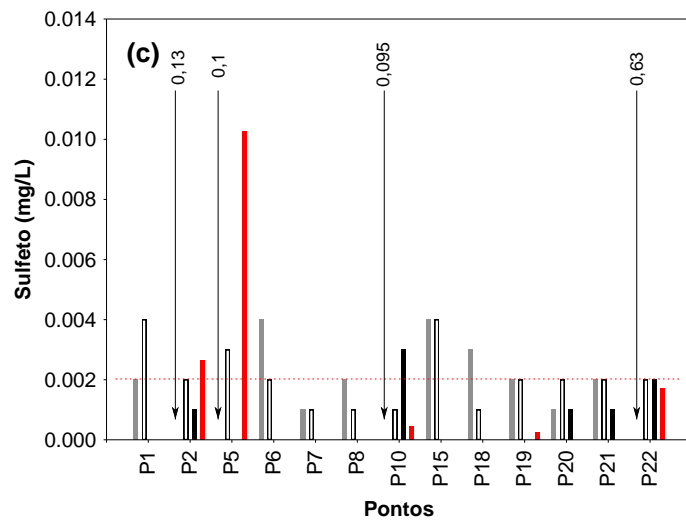
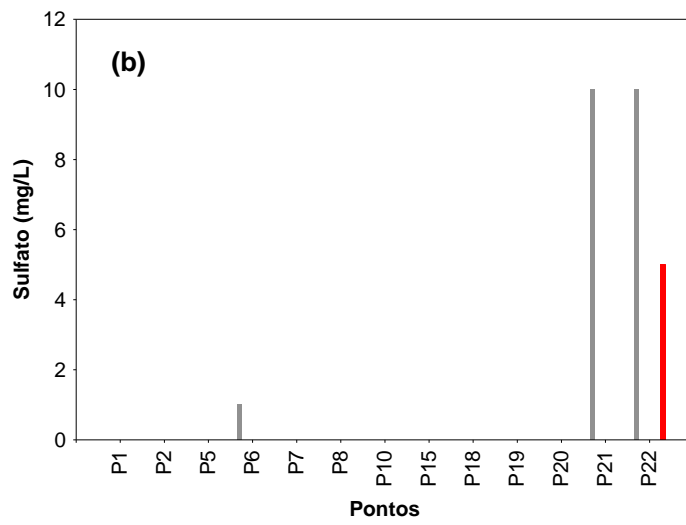
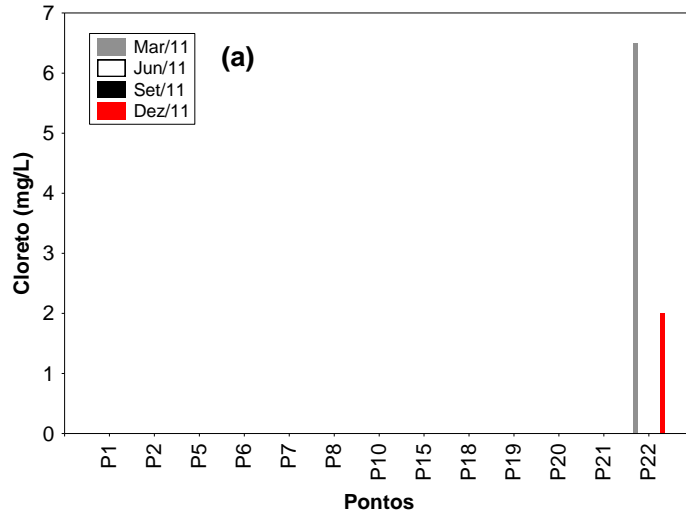
Todas as águas naturais contêm íons cloretos resultantes da dissolução de minerais ou de sais ou, em regiões próximas do mar, da intrusão de águas salinas no continente. Altas concentrações de cloretos impedem o uso da água para a agricultura e exigem tratamento adequado para usos industriais (dessalinização), bem como causam danos a estruturas metálicas (corrosão) (Baumgarten e Pozza, 2001). No trecho monitorado, as concentrações de cloreto foram inferiores ao limite de detecção do método (<0,5 mg/L) na maior parte dos pontos de coleta, com exceção, somente, do ponto 22 (rio Bonito; 2,0 mg/L) (**Figura 10a**). Assim, todos os pontos de coleta apresentaram concentração significativamente inferior ao limite preconizado pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (250 mg/L). Além disso, tais concentrações também foram inferiores ao limite de detecção do método (<0,5 mg/L) nas maiores profundidades de coleta (meio e fundo dos pontos 1, 6, 20 e 21).

Em ecossistemas aquáticos, o enxofre pode ocorrer em diferentes formas, tais como, como íon sulfato (SO₄²⁻), íon sulfito (SO₃²⁻), íon sulfeto (S²⁻), gás sulfídrico (H₂S), entre outras. Dentre as várias formas de enxofre presentes na água, o íon sulfato e o gás sulfídrico são as mais freqüentes. No entanto, o íon sulfato apresenta maior importância para a produtividade do ecossistema, uma vez que é a principal fonte de enxofre usada pelos produtores primários (Esteves, 1998). Em dezembro de 2011, as concentrações de sulfato foram

inferiores ao limite de detecção do método (<1 mg/L) na maior parte dos pontos de coleta, com exceção, somente, do ponto 22 (rio Bonito; concentração igual a 5,0 mg/L) (**Figura 10b**). Tais concentrações também foram inferiores ao limite de detecção do método (<1,0 mg/L) nas maiores profundidades de coleta (meio e fundo dos pontos 1, 6, 20 e 21). Assim, todos os locais e profundidades monitoradas apresentaram concentrações do íon sulfato que coadunam com o limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2 (250 mg/L).

As concentrações de sulfeto também foram inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA (0,002 mg/L) na maior parte dos pontos de coleta. A maior concentração (0,010 mg/L) foi registrada no ponto 5 (rio São Félix) (**Figura 10c**). Assim, somente os pontos 2 e 5 apresentaram concentrações de sulfeto superiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA (0,002 mg/L). Tais concentrações também foram inferiores ao limite de detecção do método (<0,001 mg/L) na maior parte das profundidades de coleta (meio e fundo dos pontos 1, 6, 20 e 21) (**Figura 11a**). As maiores concentrações de sulfeto foram registradas em março de 2011.

O ferro é de grande importância para o metabolismo dos seres vivos e apresenta clara influência sobre a precipitação do fósforo. Assim, em ambientes onde predominam altas concentrações de oxigênio e pH próximo ao neutro, grande parte dos íons de ferro encontra-se na forma oxidada (Fe^{3+} - íon férrico), podendo assim adsorver-se ao íon fosfato e acarretar a precipitação do fósforo no sedimento (Esteves, 1998). Em ambientes que não estão submetidos a impactos, o ferro e o manganês são registrados em baixas concentrações, pois as suas formas predominantes são as oxidadas que são mais insolúveis (Fe^{3+} e Mn^{4+}). Em dezembro de 2011, as concentrações de ferro total, na superfície da coluna da água, variaram entre 0,14 mg/L (ponto 20) e 1,89 mg/L (ponto 22 - rio Bonito) (**Figura 10d**). Em média, as maiores concentrações de ferro total foram detectadas em março e dezembro de 2011, durante o período de chuvas. Considerando o perfil vertical, foi possível observar similaridade nas concentrações de ferro total entre as profundidades de coleta (média igual a 0,37 mg/L na superfície; 0,32 mg/L no meio e 0,41 mg/L no fundo) (**Figura 11b**).



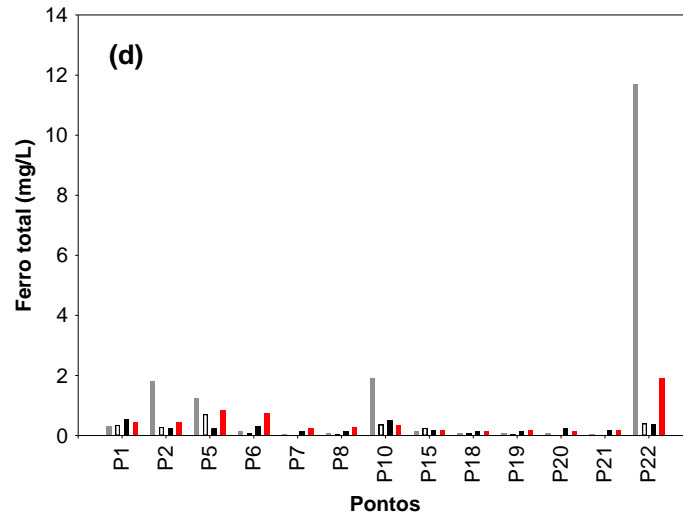


Figura 10. Concentrações de cloreto (a), sulfato (b) e ferro total (c), na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

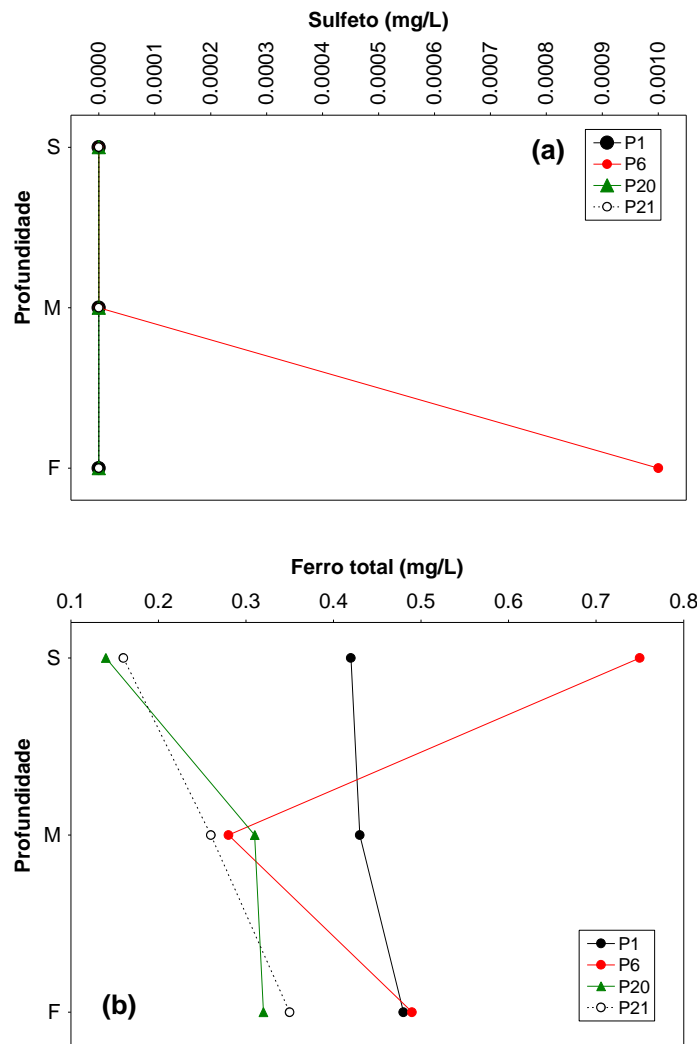


Figura 11. Perfil vertical das concentrações de sulfato (a) e ferro total (b) nos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011.

Nutrientes fosfatados e nitrogenados

Em conjunto com o nitrogênio (N), o fósforo (P) é o principal elemento que pode limitar a produção primária. Deste modo, elevadas concentrações indicam um elevado potencial de eutrofização (aumento da disponibilidade e da taxa de utilização de nutrientes que acarreta um aumento do estado trófico do ambiente). Mesmo com o avanço tecnológico dos sistemas de controle de fontes pontuais de nutrientes, a eutrofização (causada pelo incremento de N e P) ainda pode ser considerada o principal problema de qualidade de água em diferentes partes do mundo. Quando prevalecem baixas concentrações de oxigênio, o fósforo pode ser disponibilizado para a coluna d'água e, assim, mesmo sem fontes externas, o processo de eutrofização pode ocorrer (Kalf, 2002; Baumgarten e Pozza, 2001).

A importância do nitrogênio para o funcionamento dos ecossistemas pode ser atribuída à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações, este nutriente pode atuar como fator limitante da produção primária. Dentre as diferentes formas, os teores de nitrato e do íon amônio assumem grande importância nos ecossistemas aquáticos, uma vez que representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários. O nitrito é encontrado em baixas concentrações, principalmente em ambientes oxigenados (Esteves, 1998).

Em dezembro de 2011, as concentrações de orto-fosfato variaram entre valores inferiores ao limite de detecção do método ($<0,001$ mg/L) e $0,038$ mg/L (ponto 5 – rio São Félix) (**Figura 12a**). Em média, ao longo do ano de 2011, as maiores concentrações de orto-fosfato foram registradas em março e dezembro, durante o período de chuvas. As concentrações de fósforo total variaram entre $0,001$ mg/L e $0,066$ mg/L (ponto 5 – rio São Félix) (**Figura 12b**). Assim, nesse mês, somente o ponto 5 apresentou concentração superior ao limite máximo indicado na Resolução CONAMA nº 357/2005 ($0,05$ mg/L). Assim como observado para as concentrações de orto-fosfato, as maiores concentrações de fósforo total foram registradas em março e dezembro de 2011 (média igual a $0,016$ mg/L em março; $0,001$ mg/L em junho; $<0,001$ mg/L

em setembro e 0,022 mg/L em dezembro), provavelmente devido a influência das chuvas nesse período.

Considerando a análise do perfil vertical, foi possível observar concentrações de orto-fosfato inferiores ao limite de detecção do método (<0,001 mg/L) no meio e fundo dos pontos de coleta (**Figura 13a**). Além disso, as concentrações de fósforo total também foram similares entre as profundidades de coleta. Somente o ponto 6 apresentou um acréscimo nas concentrações de fósforo total ao longo das maiores profundidades de coleta (valores iguais a 0,016 mg/L na superfície; 0,02 mg/L no meio e 0,04 mg/L no fundo) (**Figura 13b**). No entanto, mesmo considerando esse acréscimo, tais concentrações ainda foram abaixo de 0,05 mg/L.

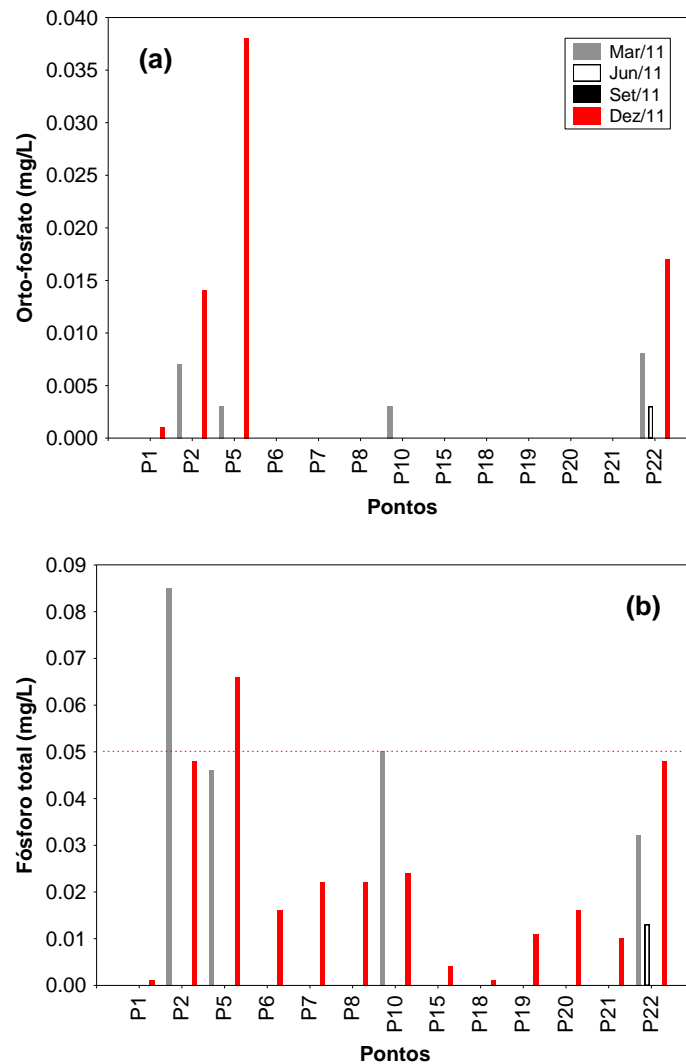


Figura 12. Concentrações de orto-fosfato (a) e fósforo total (b) na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

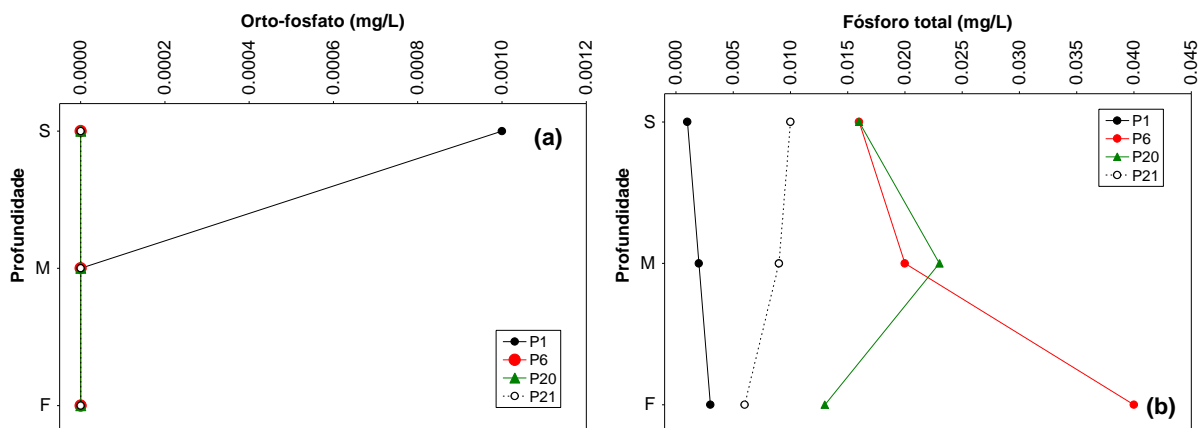


Figura 13. Perfil vertical das concentrações de orto-fosfato (a) e fósforo total (b) nos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011.

Em média, as maiores concentrações de nitrogênio total foram registradas em dezembro de 2011, ou seja, no período de chuvas (média igual a 0,65 mg/L) (**Figura 14a**). Nesse mês, a maior concentração (1,6 mg/L) foi registrada no ponto 22 (rio Bonito). Considerando as formas inorgânicas de nitrogênio, as concentrações de nitrato (NO_3^-) variaram entre 0,1 mg/L e 1,2 mg/L (ponto 22 - rio Bonito) (**Figura 14b**). As concentrações de nitrito (NO_2^-) variaram entre valores inferiores ao limite de detecção do método (< 0,001 mg/L) e 0,004 mg/L (ponto 15 – jusante da barragem) (**Figura 14c**), enquanto que as concentrações de nitrogênio amoniacal variaram entre 0,02 mg/L e 0,45 mg/L (ponto 2 – rio Preto) (**Figura 14d**). De maneira geral, ao longo do ano de 2011, todos os pontos monitorados apresentaram concentrações de nitrato e nitrito que coadunam com os limites indicados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (10 mg/L para nitrato e 1,0 mg/L para nitrito). De acordo com a referida resolução, o limite para a concentração de nitrogênio amoniacal é dependente do valor de pH. Em ambientes com valores de pH inferiores a 7,5, o valor máximo estabelecido para nitrogênio amoniacal é igual a 3,7 mg/L; em ambientes com valores de pH entre 7,5 e 8,0 o valor máximo permitido é 2,0 mg/L; e em ambientes com valores de pH entre 8,0 e 8,5 o valor máximo permitido é 1,0 mg/L. Assim, todo o trecho monitorado também apresentou concentrações de N-amoniacal inferiores ao limite indicado pela resolução.

Considerando a análise do perfil vertical, foi possível verificar similaridade nas concentrações dos compostos nitrogenados ao longo das diferentes profundidades de coleta.

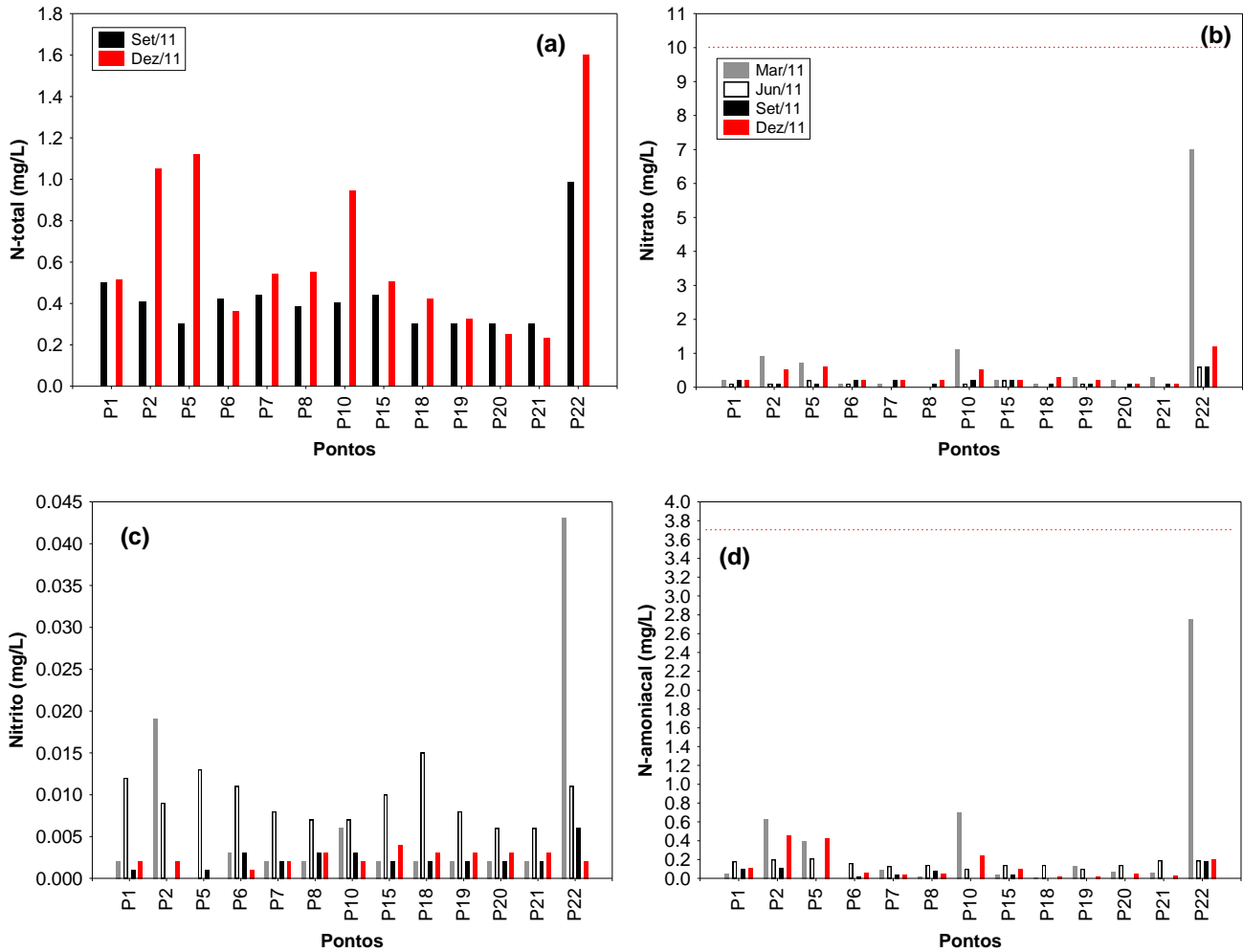
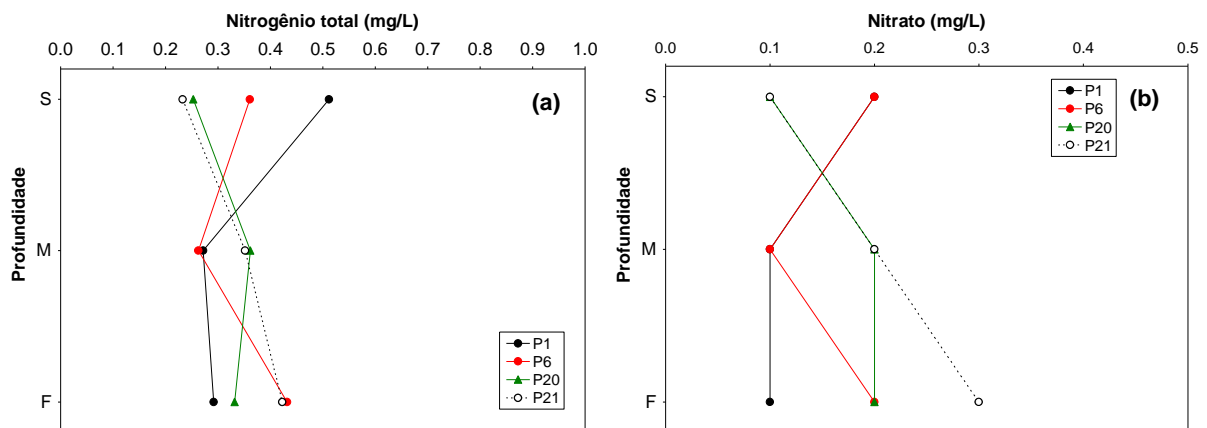


Figura 14. Concentrações nitrogênio total (a), nitrato (b), nitrito (c) e nitrogênio amoniaco (d) na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.



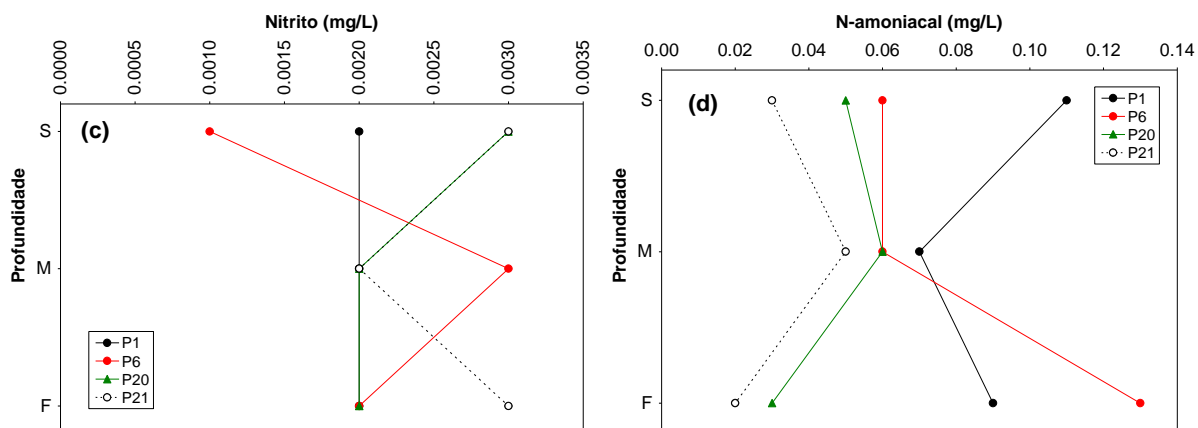


Figura 15. Perfil vertical das concentrações de nitrogênio total (a), nitrato (b), nitrito (c) e nitrogênio amoniacoal (d) nos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011.

DBO₅

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) é definida como a quantidade de oxigênio que será utilizada pelos microorganismos presentes em uma amostra na oxidação da matéria orgânica para uma forma inorgânica estável (Kalff, 2002). Em dezembro de 2011, as concentrações de DBO₅ variaram entre 0,3 mg/L e 3,0 mg/L (ponto 2 – rio Preto) (**Figura 16**). Assim, todos os locais apresentaram valores de DBO₅ abaixo do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n^o 357/2005 (5,0 mg/L).

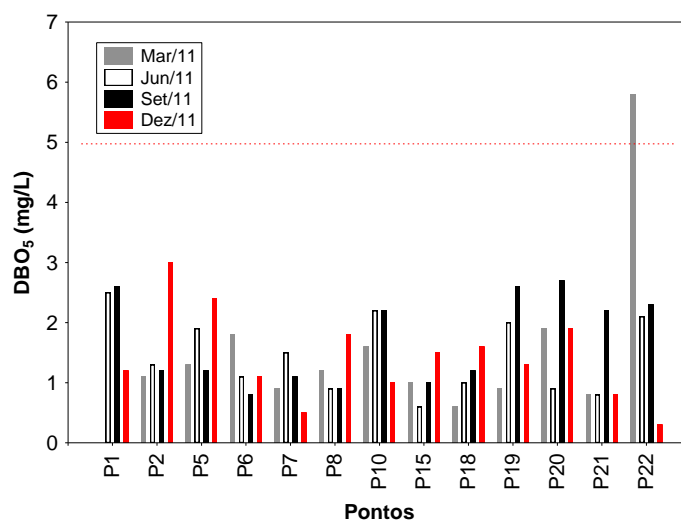


Figura 16. Valores de DBO₅ na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

Óleos e Graxas

“Óleos e graxas” incluem, além dos hidrocarbonetos, ácidos graxos, sabões, gorduras, óleos, ceras e também outros materiais cuja extração química pelo solvente seja possível. A maior dificuldade encontrada no estabelecimento do limite oficial tolerável para óleos e graxas está no fato deste parâmetro não possuir categorias químicas definidas, mas incluir vários compostos orgânicos com variáveis físicas, químicas e propriedades toxicológicas diferentes (Baumgarten e Pozza, 2001). Quando presentes em quantidade excessiva, esses compostos podem interferir nos processos biológicos aeróbicos e anaeróbicos.

Em dezembro de 2011, todas as concentrações de óleos e graxas, no trecho monitorado, estavam de acordo com o estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (i.e., para águas de classe 2 as concentrações de óleos e graxas devem ser virtualmente ausentes - V.A.). Resultado similar foi observado em setembro de 2011.

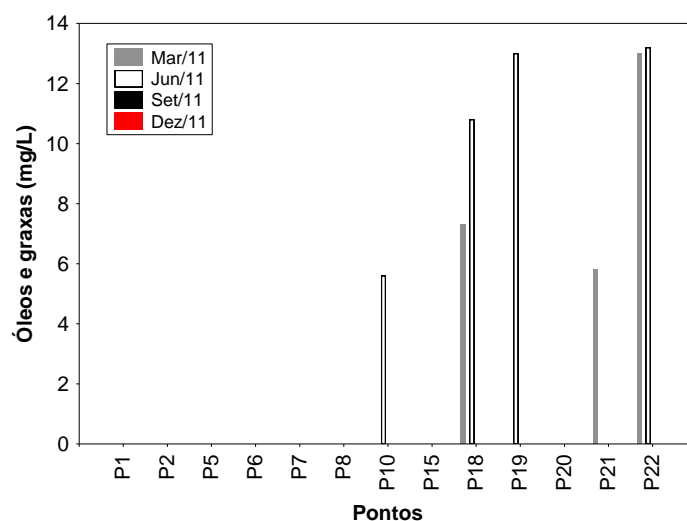


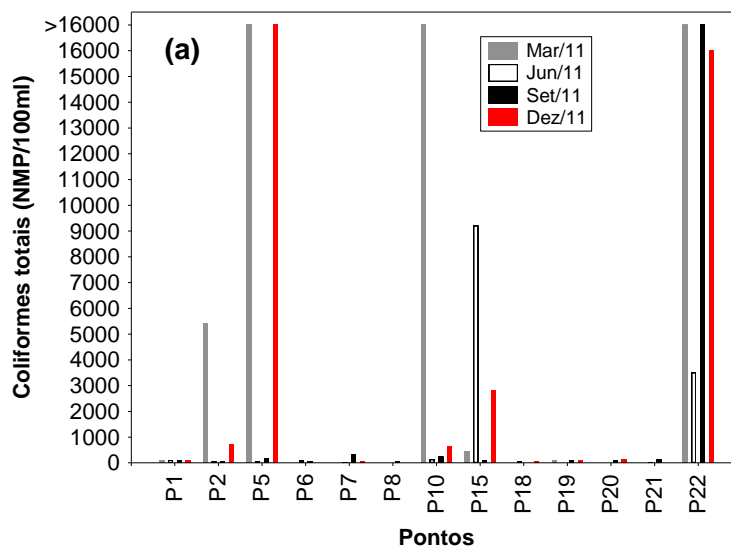
Figura 17. Concentrações de óleos e graxas na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

Variáveis bacteriológicas

A presença de coliformes na água indica o potencial da presença de microrganismos patogênicos. O grupo dos coliformes totais inclui gêneros que não são de origem exclusivamente fecal, o que limita sua aplicação como indicador geral de contaminação fecal. O reconhecimento deste fato levou ao

desenvolvimento de métodos de enumeração de um subgrupo de coliformes denominados coliformes fecais (termotolerantes) os quais são diferenciados dos coliformes totais pela sua capacidade de fermentar a lactose em temperatura elevada ($44,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$).

No trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava, a densidade de coliformes totais, em dezembro de 2011, variou entre valores inferiores ao limite de detecção do método ($< 18 \text{ NMP}/100\text{ml}$) e valor $> 16.000 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$ (ponto 5 – rio São Félix), seguido pelo ponto 22 (rio Bonito; densidade igual a $16.000 \text{ NMP}/100\text{ml}$) (**Figura 18a**). A densidade de coliformes termotolerantes (fecais) também variou entre valores inferiores ao limite de detecção do método ($< 18 \text{ NMP}/100\text{ml}$) e valor $> 16.000 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$ (ponto 5 - rio São Félix) (**Figura 18b**). Assim, nesse mês, os pontos 5 e 15 (jusante da barragem) apresentaram valores de densidade superiores ao limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ($1.000 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$). Em março também foram mensurados elevados valores de densidade de coliformes em alguns locais monitorados, indicando a influência da precipitação pluviométrica sobre tais resultados.



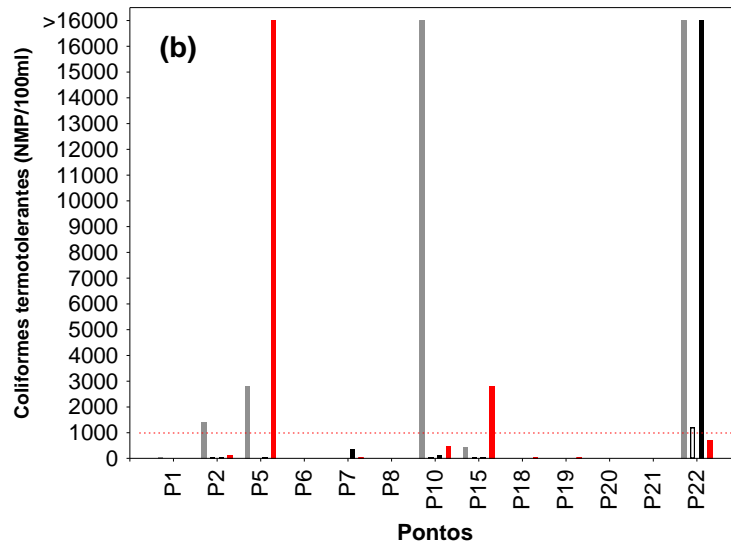


Figura 18. Densidade de coliformes totais (a) e coliformes termotolerantes (fecais; b) na área de influência da UHE Cana Brava, entre março e dezembro de 2011.

Perfil vertical dos pontos 20 e 21

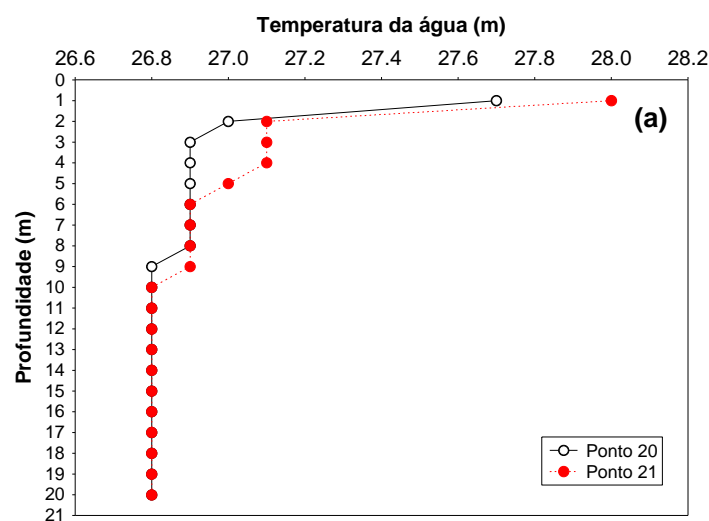
Os padrões de estratificação térmica influenciam sobremaneira a distribuição vertical dos parâmetros limnológicos, principalmente o oxigênio dissolvido. Os lagos profundos (acima de 20 m) de regiões tropicais quando relativamente protegidos da ação do vento, permanecem estratificados na maior parte do ano, desestratificando-se somente no inverno, por curtos períodos. Nestes lagos, durante o período de estratificação térmica, o oxigênio produzido no epilímnio (correspondendo à zona eufótica) não atinge o hipolímnio (Esteves, 1998). O padrão de circulação da coluna de água durante o inverno e estratificação durante os demais meses do ano é característicos de ecossistemas aquáticos monomíticos quentes. Ressalta-se ainda, que as condições de hipóxia (baixa concentração de oxigênio dissolvido) ou mesmo anoxia, muitas vezes prolongadas, em lagos tropicais, proporcionam um habitat com características adversas para a fauna aquática, principalmente peixes. Esta situação torna-se ainda mais limitante, com a formação de gases nocivos, tais como gás sulfídrico e metano, formados em condições anaeróbicas no ambiente (Esteves, 1998).

Assim, em dezembro de 2011 foi realizada a análise do perfil vertical nos pontos 20 e 21, no interior do reservatório da UHE Cana Brava, com o objetivo

principal de verificar a existência de estratificação térmica. Foi obtida a temperatura da água e concentração de oxigênio dissolvido, até a profundidade de 20 metros (**Figura 19**).

Nesse mês, a camada superficial e de fundo apresentaram diferenças de temperatura iguais a 0,9°C no ponto 20 e 1,2°C no ponto 21 (**Figura 19a**). Tais diferenças foram inferiores àquelas registradas em março de 2011 (3,5°C no ponto 20 e 3,4°C no ponto 21), junho (2,2°C no ponto 20 e 2,4°C no ponto 21) e setembro de 2011 (1,4°C no ponto 20 e 2,0°C no ponto 21). A análise das concentrações de oxigênio dissolvido também demonstrou similaridade ao longo das profundidades amostradas. De maneira geral, tais concentrações foram superiores a 5,0 mg/L ao longo de toda a coluna da água (**Figura 19b**).

Assim, pode-se concluir que, nesse mês, a coluna da água no reservatório não apresentou estratificação térmica, tendo em vista a pequena diferença nos valores da temperatura da água entre o epilímnio e hipolímnio dos pontos monitorados.



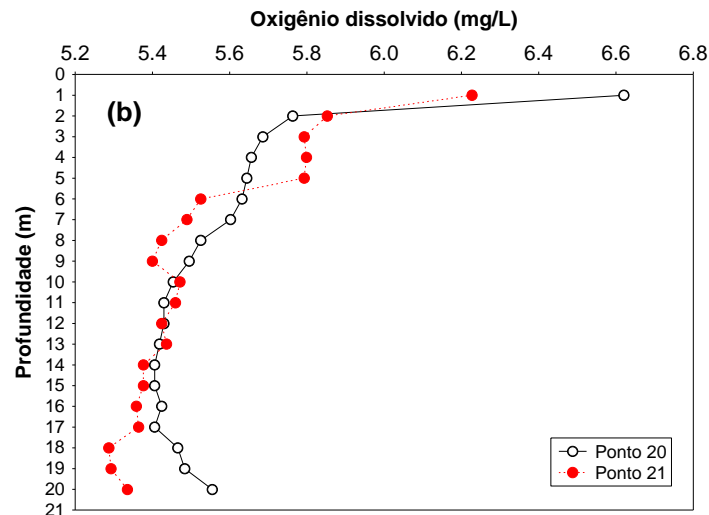


Figura 19. Perfil vertical dos valores de temperatura da água (a) e oxigênio dissolvido (b) em dois pontos localizados no corpo central do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011.

6.2. Índice de Qualidade da Água (IQA)

Índices de qualidade da água (IQA) são bastante úteis para facilitar a comunicação entre público geral e corpo técnico, para avaliar tendências temporais da qualidade da água e permitir uma comparação entre diferentes cursos d'água. Normalmente, um índice de qualidade de água varia entre 0 (zero) e 100 (cem), sendo que quanto maior o seu valor, melhor é a qualidade da água.

Metodologia

O IQA pode ser determinado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Coliformes Fecais, Temperatura, pH, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Turbidez e Resíduo Total (http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp). A seguinte fórmula foi utilizada:

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

onde:

IQA = Índice de qualidade da água. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do parâmetro i . Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao parâmetro i fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A qualidade das águas interiores, indicada pelo IQA em uma escala de 0 a 100, pode ser classificada em categorias narrativas da seguinte forma:

IQA	QUALIDADE
80 – 100	Qualidade Ótima
52 – 79	Qualidade Boa
37 – 51	Qualidade Aceitável
20 – 36	Qualidade Ruim
0 – 19	Qualidade Péssima

Resultados

Em dezembro de 2011, o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou valores de IQA que variaram entre 51,785 (ponto 5 – rio São Félix) e 80,473 (ponto 20, situado no meio do reservatório) (**Tabela 2 e Figura 20**). Conforme pode ser verificado na tabela e figura abaixo, não houve diferença significativa entre os valores de IQA mensurados em setembro e dezembro de 2011 (média igual a 73,4 em setembro e 70,5 em dezembro; $P > 0,05$).

Além disso, em ambos os meses, a maior parte dos pontos monitorados foi classificado como apresentando águas com “Boa” Qualidade” (em setembro todos os locais foram classificados como “Bons”). Em dezembro, o ponto 5 apresentou menor valor de IQA tendo em vista a maior concentração de fósforo total e maior densidade de coliformes termotolerantes (fecais) nesse local. Tal resultado pode ser considerado um caso esporádico, tendo em vista que esse

local (rio São Félix) freqüentemente apresenta características limnológicas que correspondem aos limites preconizados pela Resolução CONAMA. Provavelmente, nesse mês, esse local foi fortemente influenciado pelo ambiente terrestre adjacente durante o período de chuvas.

Tabela 2. Índice de Qualidade da água (IQA) por ponto de coleta, obtidos em setembro e dezembro de 2011.

Pontos	Descrição	Set/2011		Dez/2011	
		IQA	Qualidade	IQA	Qualidade
P1	Tocantins/Córrego Florêncio	71,806	Boa	72,987	Boa
P2	Rio Preto	73,941	Boa	68,688	Boa
P5	Rio São Félix	77,558	Boa	51,785	Aceitavel
P6	Tocantins/ Foz São Félix	73,263	Boa	75,746	Boa
P7	Rio Bonito	70,112	Boa	76,068	Boa
P8	Córrego Varjão	78,16	Boa	78,015	Boa
P10	Rio do Carmo	70,481	Boa	67,46	Boa
P15	Tocantins/Rio Cana Brava	68,803	Boa	55,139	Boa
P18	Praia de Minaçu - parte interna	78,021	Boa	72,078	Boa
P19	Praia de Minaçu - parte externa	77,279	Boa	77,84	Boa
P20	No meio do reservatório	78,171	Boa	80,473	Ótima
P21	Tocantins/Próximo à barragem	78,116	Boa	79,543	Boa
P22	Rio Bonito (acima do ponto 7)	58,167	Boa	60,92	Boa

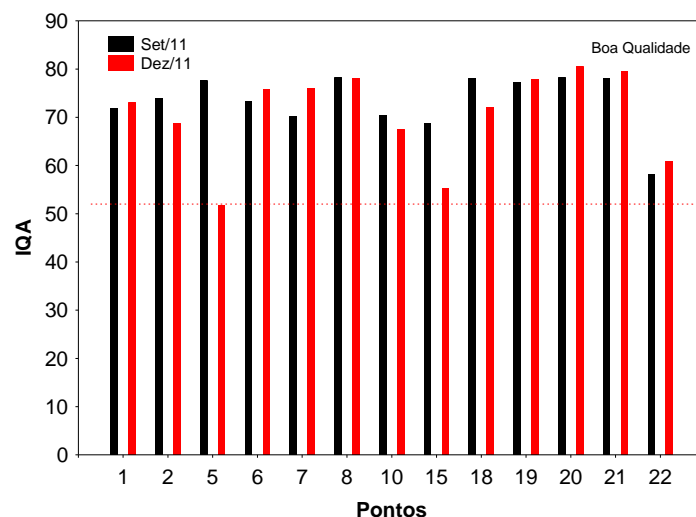


Figura 20. Valores de IQA obtidos na área de influência da UHE Cana Brava, em setembro e dezembro de 2011.

7. Considerações Finais

De maneira geral, em dezembro de 2011 o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com elevada transparência da água (baixos valores de turbidez), baixos valores de compostos nitrogenados e fosfatados e DBO_5 , além de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido. Considerando que as águas do sistema monitorado são enquadradas na classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, grande parte do trecho monitorado no reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2011, apresentou resultados compatíveis com os limites preconizados pela referida resolução. Além disso, a análise do perfil vertical dos pontos localizados no interior do reservatório (pontos 1, 6, 20 e 21) demonstrou similaridade nos valores dos parâmetros físicos e químicos mensurados, indicando ausência de estratificação térmica na coluna da água do reservatório.

Comparando com os demais meses monitorados em 2011, foi possível verificar que os maiores valores de turbidez, ferro total, orto-fosfato, fósforo total, nitrogênio total e densidade de coliformes, foram registradas durante o período de chuvas, onde ocorre maior escoamento superficial do ambiente terrestre para os sistema aquático.

8. Próximas atividades

Em março de 2012 será realizada a campanha de campo trimestral, onde serão coletadas amostras de água para as análises físico-químicas e biológicas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos). Além disso, nesse mês serão coletadas amostras de sedimento para a análise de mercúrio.

9. Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: Byrd Prepress Springfield, 2005.
- ESTEVEZ, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Interciência – FINEP, Rio de Janeiro, 1998. 575p.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific, 1978. (IBP Handbook, no. 8) 214 p.
- KALFF, J. **Limnology**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 592 p.
- MACKERETH, F.Y.H.; HERON, J.G.; TALLING, J.J. **Water analysis some revised methods for limnologist**. Ambleside: Freshwater Biological Association, 1978. (Freshwater Biological Association. Scientific Publication, v. 36) 120 p.
- WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. **Limnological analysis**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2000. 429 p.

ANEXO I . Resultados obtidos no monitoramento realizado em dezembro de 2011, na área de influência da UHE Cana Brava. Os valores destacados em vermelho referem-se a resultados fora do limite preconizado pela Resolução CONAMA n° 357/2005.

Variáveis / Pontos	Prof	1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22
Temperatura ambiente (°C)		28	28	28	30	30	30	23	24	30	30	31	30	24
Temperatura da água (°C)	S	26	24	23,8	27	27	28	23,7	22	28	28	27,8	28	23
	M	26			27							26,8	26,8	
	F	26			26,5							26,8	26,8	
Transparência da água (m)		3,3	0,4	0,6	2,6	3,2	3,2	0,5	-	3	3	5	5	-
	S	2	39	72	2	2	2	13	2	1	1	1	1	45,5
	M	2			2							1	1	
Turbidez (NTU)	F	2			7							2	2	
	S	5,3	8,5	8,9	6,3	6,5	7,0	7,3	5,0	6,9	7,4	8,2	7,8	6,8
	M	5,1			6,1							5,4	5,4	
Oxigênio dissolvido (mg/L)	F	4,6			6,1							5,5	5,3	
	S	7,9	7,5	7,3	7,7	7,9	7,7	7,5	7,5	7,7	7,8	7,8	7,8	8,2
	M	7,7			7,8							7,7	7,7	
pH	F	7,8			7,8							7,8	7,8	
	S	87	11	15	79	84	84	35	84	89	90	84	85	151
	M	86			80							86	84	
Condutividade elétrica	F	86			73							85	85,5	
	S	47	5	7	39	41	40	18	42	45	44	42	42	76
	M	44			39							42	42	
STD (mg/L)	F	43			37							42	42	
	S	37	7	10	33	33	37	19	35	36	38	36	34	58
	M	36			34							36	33	
Alcalinidade (mg/L)	F	37			30							35	35	
	S	0,93	0,44	1,00	1,32	0,83	1,48	1,20	2,21	1,44	1,20	1,14	1,08	0,73
	M	1,46			1,09							1,46	1,34	
CO ₂ livre (mg/L)	F	1,19			0,97							1,13	1,13	
	S	33,49	6,60	9,80	30,36	29,87	34,04	17,92	33,01	33,12	34,64	32,82	31,00	51,77
	M	33,12			31,00							33,12	30,36	
CO ₂ total (mg/L)	F	33,73			27,35							31,91	31,91	

Variáveis / Pontos	Prof	1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22
Cloretos (mg/L)	S	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2
	M	<0,5			<0,5							<0,5	<0,5	
	F	<0,5			<0,5							<0,5	<0,5	
Sulfato (mg/L)	S	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5
	M	<1			<1							<1	<1	
	F	<1			<1							<1	<1	
Sulfeto (mg/L)	S	<0,001	0,003	0,010	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
	M	<0,001			<0,001							<0,001	<0,001	
	F	<0,001			0,001							<0,001	<0,001	
Ferro total (mg/L)	S	0,42	0,44	0,84	0,75	0,25	0,26	0,33	0,18	0,15	0,16	0,14	0,16	1,89
	M	0,43			0,28							0,31	0,26	
	F	0,48			0,49							0,32	0,35	
Orto-fosfato (mg/L)	S	0,001	0,014	0,038	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,017
	M	<0,001			<0,001							<0,001	<0,001	
	F	<0,001			<0,001							<0,001	<0,001	
Fósforo total (mg/L)	S	0,001	0,048	0,066	0,016	0,022	0,022	0,024	0,004	0,001	0,011	0,016	0,01	0,048
	M	0,002			0,02							0,023	0,009	
	F	0,003			0,04							0,013	0,006	
Nitrogênio total (mg/L)	S	0,512	1,052	1,12	0,361	0,542	0,553	0,942	0,504	0,423	0,323	0,253	0,233	1,602
	M	0,272			0,263							0,362	0,352	
	F	0,292			0,432							0,332	0,423	
Nitrato (mg/L)	S	0,2	0,5	0,6	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	1,2
	M	0,1			0,1							0,2	0,2	
	F	0,1			0,2							0,2	0,3	
Nitrito (mg/L)	S	0,002	0,002	<0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
	M	0,002			0,003							0,002	0,002	
	F	0,002			0,002							0,002	0,003	
N-amoniaco (mg/L)	S	0,11	0,45	0,42	0,06	0,04	0,05	0,24	0,1	0,02	0,02	0,05	0,03	0,2
	M	0,07			0,06							0,06	0,05	
	F	0,09			0,13							0,03	0,02	
DBO ₅ (mg/L)	S	1,2	3,0	2,4	1,1	0,5	1,8	1,0	1,5	1,6	1,3	1,9	0,8	0,3

Variáveis / Pontos	Prof	1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22
Óleos e graxas (mg/L)	S	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.	V.A.
Coliformes totais	S	110	700	>16000	<18	68	<18	630	2800	40	92	140	<18	16000
Coliformes termotolerantes	S	< 18	110	>16000	<18	20	<18	460	2800	20	20	<18	<18	700

Life Projetos Limnológicos
www.lifelimnologia.com.br

Fone/Fax: (62) 3223 1530

Rua 14A nº 99
CEP 74070-110 Setor Aeroporto
Goiânia - Goiás - Brasil

