

PROGRAMA DE MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO – UHE CANA BRAVA



Tractebel Energia
GDF SVEZ

**Relatório Técnico Referente à
Campanha de Monitoramento
– Dezembro de 2013**

EQUIPE TÉCNICA

Coordenadora do projeto

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

Trabalhos de campo e laboratório

Bióloga M.Sc. Kátia Bittar Haddad
Biólogo M.Sc. Leonardo de Assis Ítalo
Biólogo M.Sc. Carlos Eduardo Aguiar Soares
Biólogo Wagner Batista Xavier
Biólogo Paulício Maconi Filho
Biólogo Rafael Martins Figueiredo
Bióloga Lívia Ferreira e Silva
Téc. Aline Caetano Luz

Sumário

1.Introdução	1
2.Resumo Executivo	1
3.Área do monitoramento	2
4.Coleta e análise dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos	4
5.Mensurar Índice de qualidade de água (IQA)	6
6.Resultados e Discussão	7
6.1.Variáveis Abióticas	7
6.2.Variáveis bacteriológicas	25
6.3.Perfil vertical dos pontos 20 e 21	26
7.Índice de Qualidade da Água (IQA).....	28
8.Considerações Finais	29
10.Referências	30

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, além da 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 são primordiais para a identificação e avaliação dos impactos ambientais causados por empreendimentos hidrelétricos.

O objetivo desse relatório é apresentar e comparar os resultados obtidos em dezembro de 2013 com as amostragens de setembro, junho e março de 2013, no monitoramento de 13 pontos localizados no reservatório da UHE Cana Brava.

Objetivos do relatório Técnico

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 2013, 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 as coletas realizadas em setembro, junho e março de 2013, e com os limites preconizados pela resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para águas da Classe 2;
- (iv) observar tendências nos valores das variáveis limnológicas ao longo do perfil vertical da coluna d'água.

2. Resumo Executivo

Características limnológicas

Considerando que as águas do sistema monitorado são enquadradas na classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, todo o trecho monitorado no reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2013, apresentou resultados

compatíveis com os limites preconizados pela referida resolução. A seguinte não conformidade com a legislação foi observada:

❖ Elevada densidade de coliformes termolerantes nos pontos 5 (rio São Félix) e 7 (rio Bonito).

De maneira geral, em dezembro de 2013 o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com considerável transparência da água, baixos valores de compostos nitrogenados e fosfatados, baixa concentração de clorofila-a (análise feita somente no ponto 21) e DBO₅, além de baixos valores de densidade de coliformes termotolerantes.

Comparando obtidos em dezembro de 2013 com as outras campanhas realizadas no mesmo ano, foi possível verificar condições mais próximas ao que foi observado em março.

Perfil vertical

No mês de dezembro de 2013, a análise do perfil vertical (coleta na superfície, meio e fundo) em locais localizados no interior do reservatório demonstrou tendência de aumento nos valores de alguns parâmetros no meio e no fundo da coluna d'água.

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. O decréscimo nas concentrações de oxigênio dissolvido ao longo das maiores profundidades de coleta era esperado, tendo em vista as menores taxas de produção de oxigênio pela fotossíntese nas camadas não iluminadas da coluna d'água, além do maior consumo desse gás devido ao processo de decomposição no hipolímnio.

3. Área do monitoramento

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

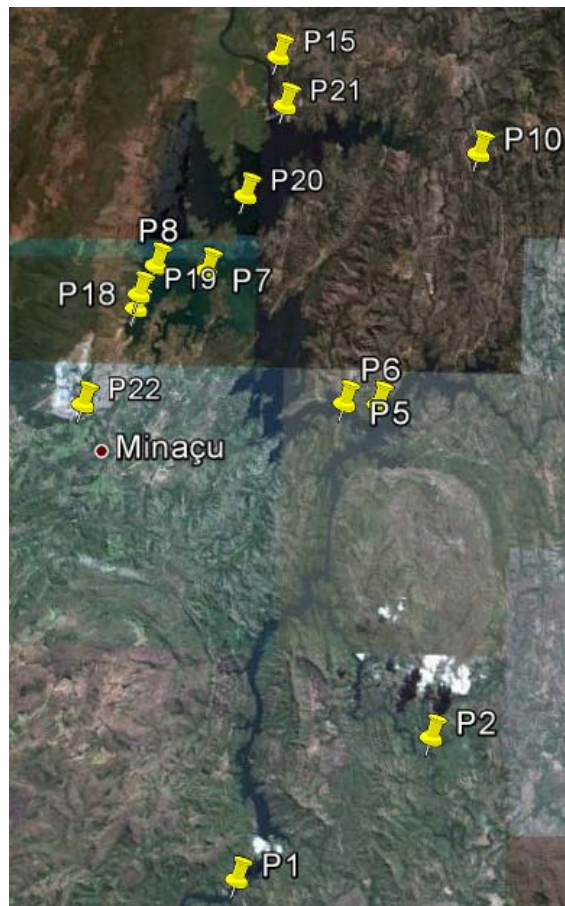


Figura 1. Pontos de coleta localizados na área de influência da UHE Cana Brava.

4. Coleta e análise dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos

A campanha de campo foi realizada entre os dias 14 e 15 de dezembro de 2013 (**Figura 1**).

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.



Figura 1. Coleta realizada em dezembro de 2013 na UHE Cana Brava.

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).

5. Mensurar Índice de qualidade de água (IQA)

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

6. Resultados e Discussão

6.1. Variáveis Abióticas

Em dezembro de 2013, os valores de temperatura do ar variaram entre 23 °C e 27 °C (média de 24,30 °C) (**Figura 2a**). Os valores da temperatura da água variaram entre 25,95 °C e 28,83 °C (média igual a 27,51 °C) (**Figura 2b**).

Considerando o perfil térmico dos pontos 1, 6, 20 e 21, localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, foi possível verificar que a maior diferença nos valores de temperatura entre o epilímnio (superfície) e o hipolímnio (fundo) foi observada no ponto 21 (0,67 °C) (localizado próximo a barragem) (**Figura 2c**). Tal

diferença foi menor àquelas registradas em setembro, junho (ponto 21) e março de 2013 (ponto 20), indicando a ausência de estratificação térmica nesses meses monitorados.

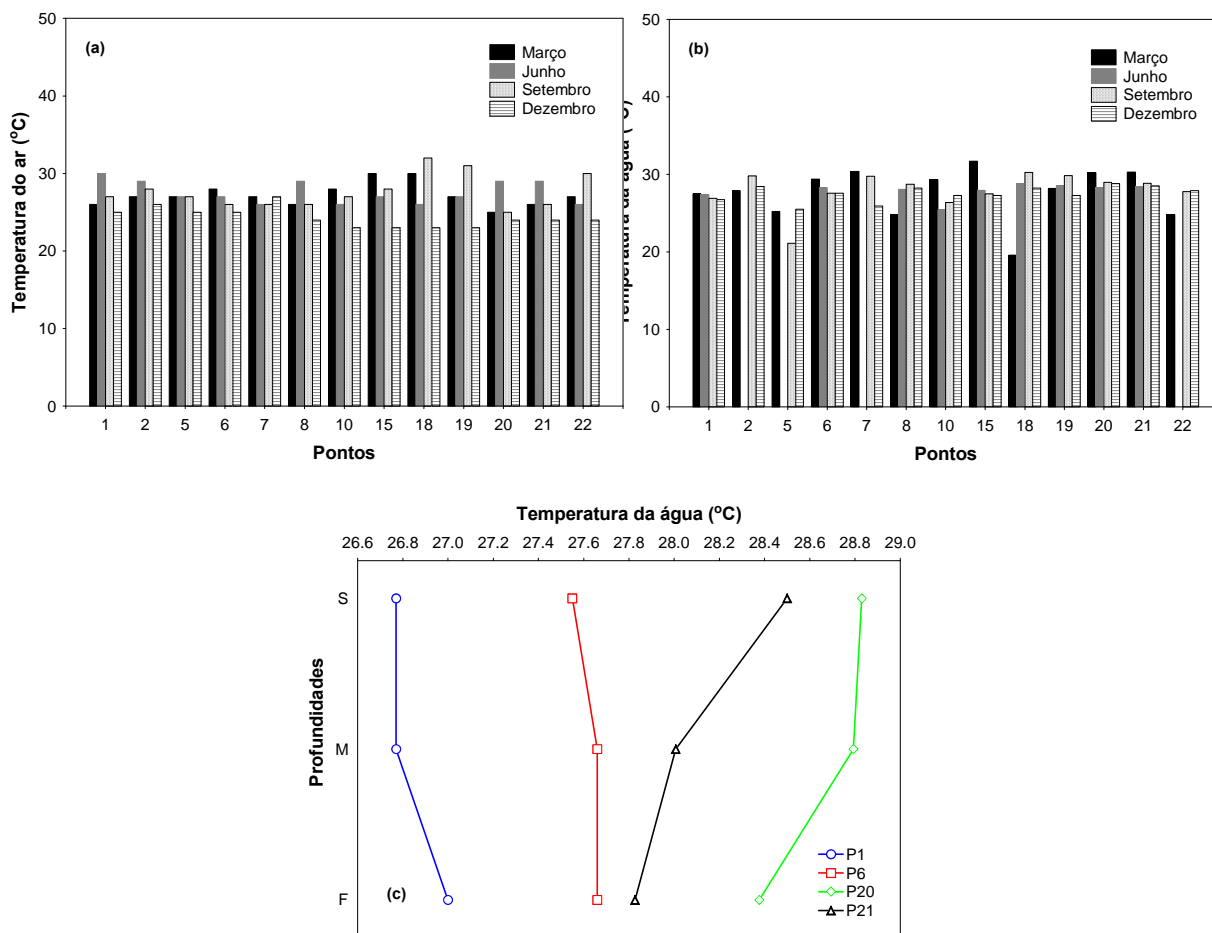


Figura 2. Valores de temperatura do ar (a) e da água (b) nos 13 pontos de coleta, mensurados em março, junho, setembro e dezembro de 2013. E perfil vertical da temperatura da água nos pontos localizados no interior do reservatório (c), em dezembro de 2013.

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 e da demanda 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 de 2013, as concentrações deste gás na superfície da coluna da água variaram entre 4,8 mg/L (ponto 15 – rio Cana Brava) e 7,5 mg/L (ponto 6 – foz São Félix) (**Figura 3a**). No mês analisado, somente o ponto 15 apresentou

concentração de oxigênio inferior ao limite mínimo determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas da classe 2 (5,0 mg/L). Na maior parte dos pontos de amostragem a porcentagem de saturação de oxigênio na superfície da coluna d'água foi elevada (> 55 % de mg/L de O₂) (**Figura 3b**).

Em média, baixas concentrações de O₂ dissolvido na água foram registradas nas maiores profundidades de coleta (na superfície a média foi de 6,3 mg/L; no meio foi de 4,9 mg/L e no fundo foi de 3,94 mg/L) (**Figura 4**). A análise da concentração de O₂ no perfil vertical dos pontos 1, 6, 20 e 21 demonstrou um decréscimo ao longo das maiores profundidades de coleta, principalmente no ponto 6, ou seja, no local com maior profundidade (**Figuras 4**). Concentrações de oxigênio abaixo de 5,0 mg/L (limite mínimo determinado pela legislação) foram registradas no fundo do ponto 1 (4,6 mg/L), no fundo do ponto 6 (3,07 mg/L), no fundo do ponto 20 (4,6 mg/L) e, meio e fundo do ponto 21 (3,5 mg/L e 3,4 mg/L, respectivamente).

A presença de menor concentração de oxigênio é esperada em amostras de pontos mais profundos na coluna d'água, tendo em vista que em camadas inferiores da coluna d'água ocorre uma menor produção de oxigênio pelo fitoplâncton e maior atividade de microrganismos aeróbicos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica depositada no sedimento.

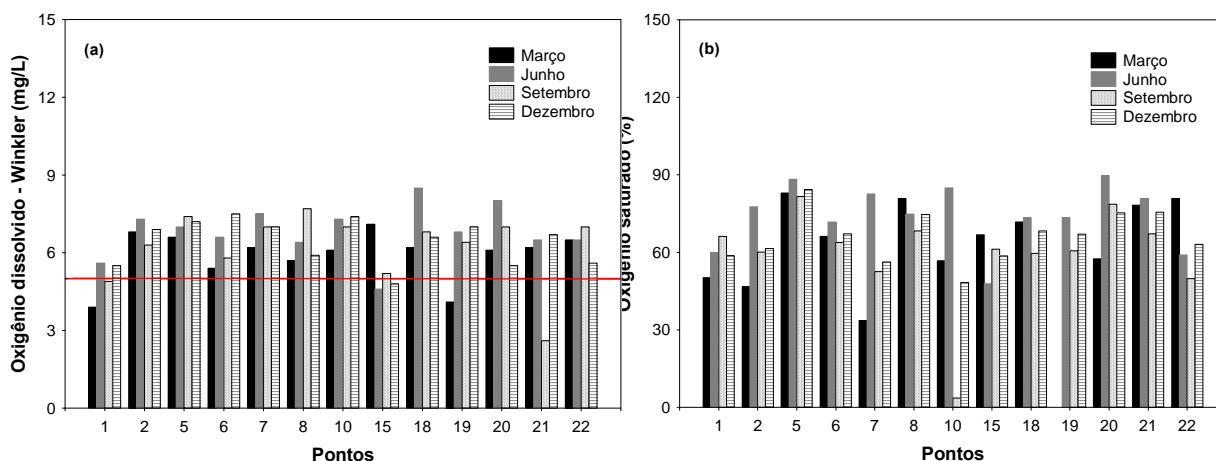


Figura 3. Concentrações de oxigênio dissolvido (a) e porcentagem de saturação de oxigênio (b) mensurados em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

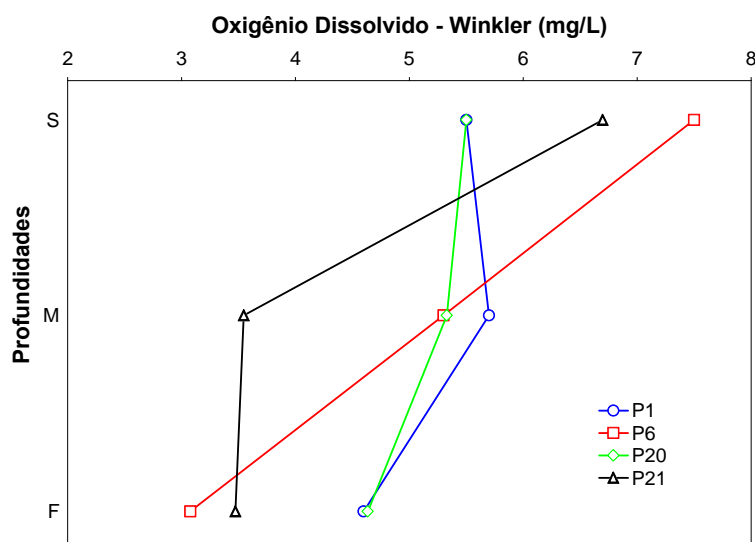


Figura 4. Perfil vertical das concentrações de oxigênio dissolvido em dezembro de 2013.

Variáveis indicadoras de luminosidade subaquática

Em dezembro de 2013, o reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com de transparência menores do que o observado nos meses de setembro e junho de 2013. Em dezembro a maior profundidade do disco de Secchi foi registrada no ponto 20 (4,4 metros), ponto localizado próximo à barragem (**Figura 5a**). Em média, os meses de março e dezembro tiveram a menor transparência da água (2,5 m, 2,6 m, respectivamente). Esse resultado reflete a influência de chuvas que ocorrem com maior frequência no período, acarretando maior carreamento superficial na bacia hidrográfica e conseqüente maior entrada de materiais nos corpos d'água.

Com relação à turbidez da água, observou-se que o mês de dezembro de 2013 apresentou valores mais próximos ao que foi registrado em março do mesmo ano de monitoramento. A turbidez da água em dezembro variou de 0,53 NTU (ponto 21) a 139 NTU (ponto 7) (média de 18,4 NTU), já em setembro houve variação de 0,4 NTU (ponto 20) a 21,8 NTU (ponto 10) (média de 4,42 UNT), em junho variou de valores menores do que a detecção do método a 1,8 NTU (média 0,29 UNT) e março de 0,7 NTU a 542 NTU (média 55,37 UNT) (**Figura 5b**). Desse modo, pode-se notar maior transparência da água no período de estiagem (junho e setembro) e que em dezembro de 2013 o único local monitorado que apresentou valor de turbidez maior que o limite máximo preconizado pela resolução CONAMA nº 357/2005 foi o ponto 7 (rio Bonito) (**Figura 5b**).

Considerando o padrão da turbidez da água ao longo da coluna d'água (superfície, meio e fundo), diferenças entre superfície e fundo foi mais evidente nos pontos 20 e 21 (**Figura 6**).

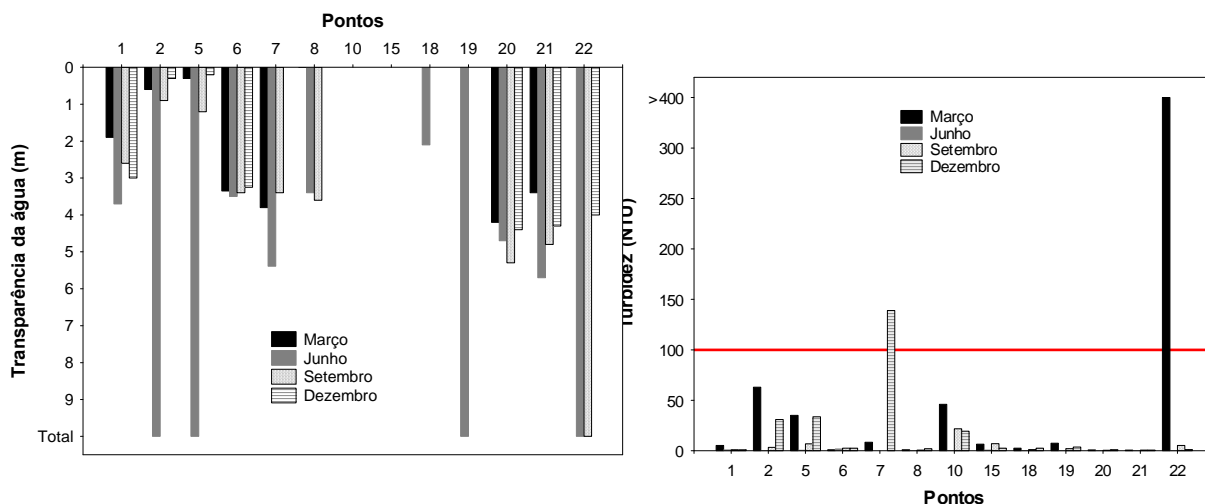


Figura 5. Valores de transparência da água **(a)** e turbidez **(b)** mensurados em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

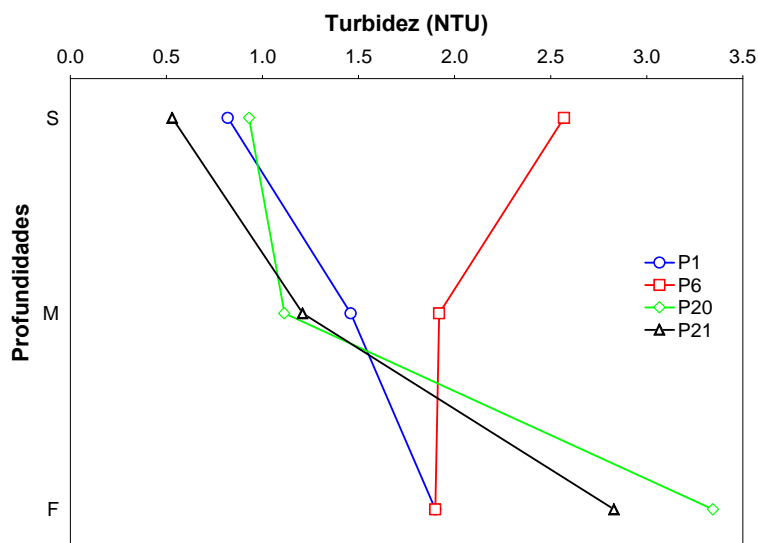


Figura 6. Perfil vertical dos valores de turbidez no corpo central do reservatório obtido em dezembro de 2013.

pH, condutividade elétrica, STD, alcalinidade e carbono

Os valores do pH registrados em dezembro de 2013 variaram entre 6,96 e 7,32 (média 7,47), assim todos os pontos atenderam os limites preconizados pela resolução CONAMA n° 357/2005 (pH 6,0 - 9,0) (**Figura 7a**). Considerando o pH

mensurado ao longo do perfil da coluna d'água todos os pontos apresentaram valores condizentes com legislação (**Figura 8a**).

Os valores de condutividade elétrica em dezembro de 2013 variaram entre 20,4 $\mu\text{S/cm}$ (ponto 5) e 130 $\mu\text{S/cm}$ (ponto 7) (média 80,4 $\mu\text{S/cm}$) (**Figura 7b**). Além disso, os valores médios de condutividade elétrica foram similares entre as profundidades amostradas (média igual a 86,12 $\mu\text{S/cm}$ na superfície; 83,13 $\mu\text{S/cm}$ no meio e 84,35 $\mu\text{S/cm}$ no fundo da coluna da água; **Figura 8b**). Resultado similar foi obtido considerando as concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD), que variou entre 13,0 mg/L (ponto 5) e 65,1 mg/L (ponto 7), sendo todos dentro desse intervalo inferiores ao limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (500 mg/L) (**Figura 7c e 8c**). De fato, houve uma forte estrutura de correlação entre os valores de condutividade elétrica e STD ($r = 0,99$; $p < 0,001$).

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). No mês de dezembro, tais valores variaram entre 15 mg/L e 62 mg/L (pontos 2 e 7, respectivamente) (**Figura 7d**).

Assim como observado para os valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade, a maior concentração de CO_2 livre (resultante das atividades de fotossíntese e respiração) e CO_2 total (medida indireta da concentração de carbono inorgânico total) também foram registradas no ponto 7 (13,6 mg/L e 68,1 mg/L, respectivamente) (**Figura 8a e b**).

Além disso, em dezembro foi registrada uma tendência de deplecionamento nos valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade no trecho monitorado, comparado a setembro e junho de 2013. Tais resultados indicam a menor concentração de íons no trecho monitorado durante o período de chuva, quando há maior influência do processo de diluição de substâncias.

Considerando o perfil vertical dos pontos localizados no interior do reservatório, foi possível observar maior heterogeneidade vertical quanto à condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade e CO_2 total nos pontos 20 e 21 (**Figuras 9b, c, d, e, f**).

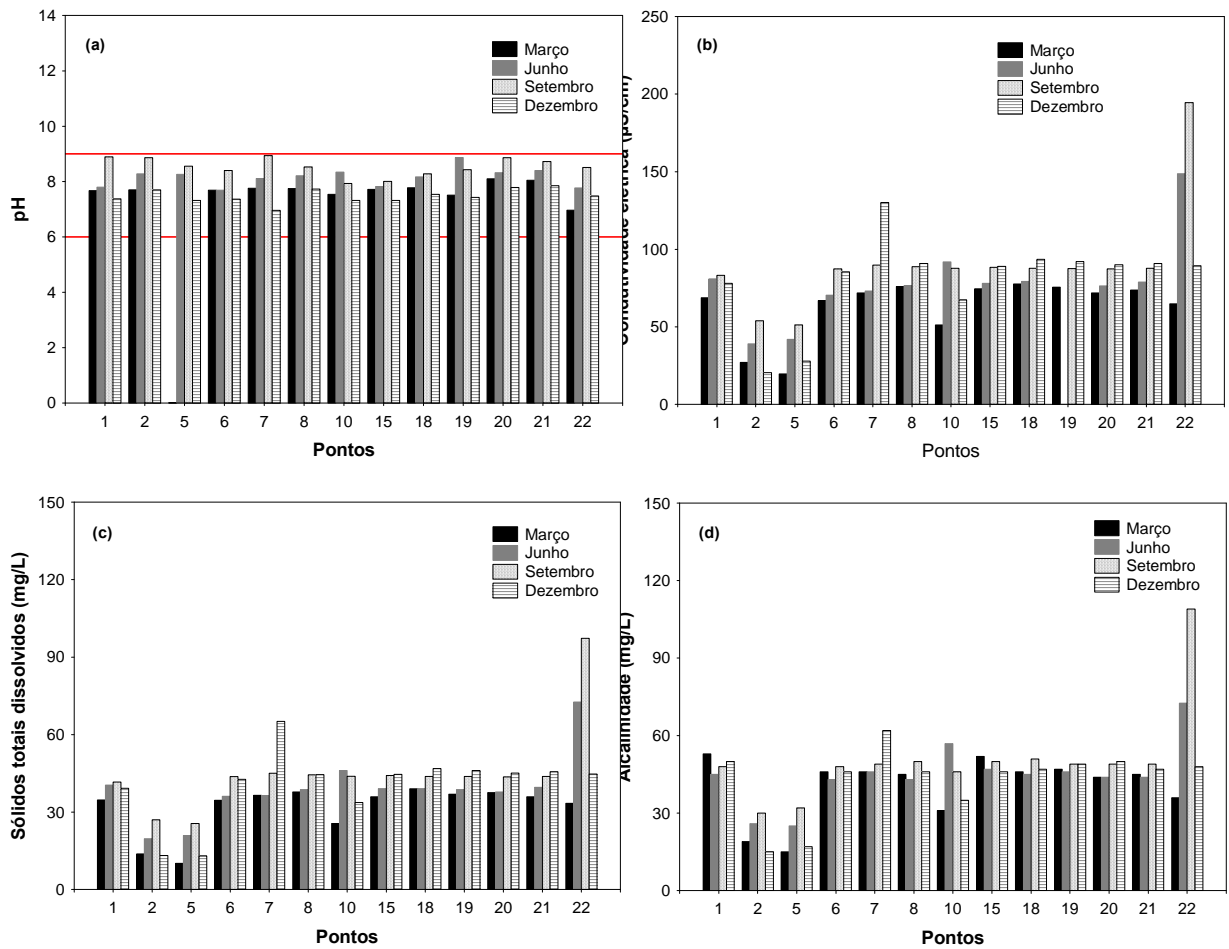


Figura 7. Valores de pH (a), condutividade elétrica (b), sólidos totais dissolvidos (STD) (c), alcalinidade (d) mensurados nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

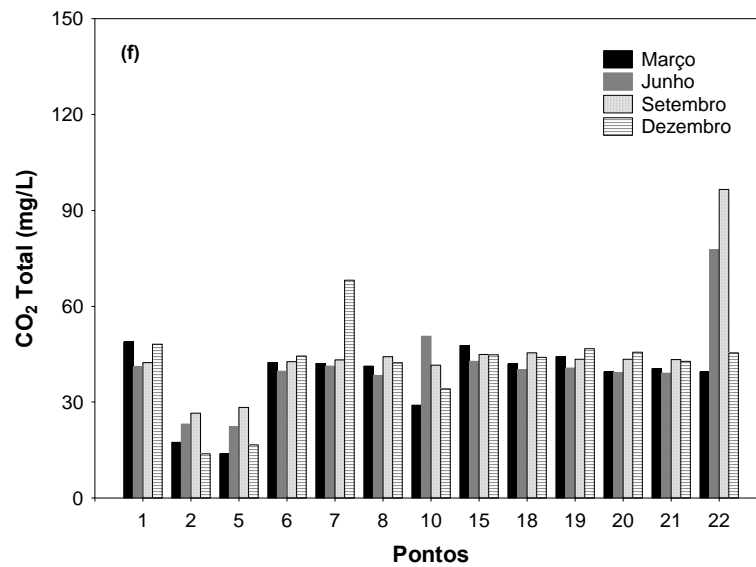
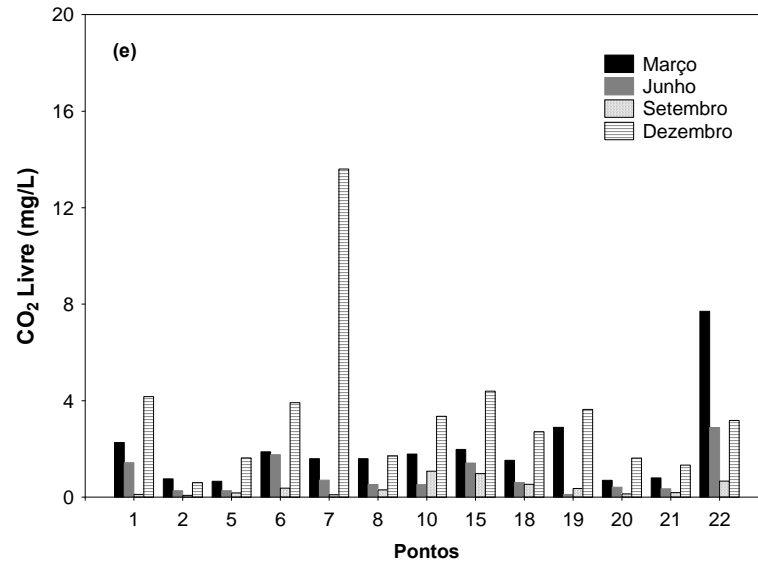


Figura 8. CO₂ livre (a) e CO₂ total (b) mensurados nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

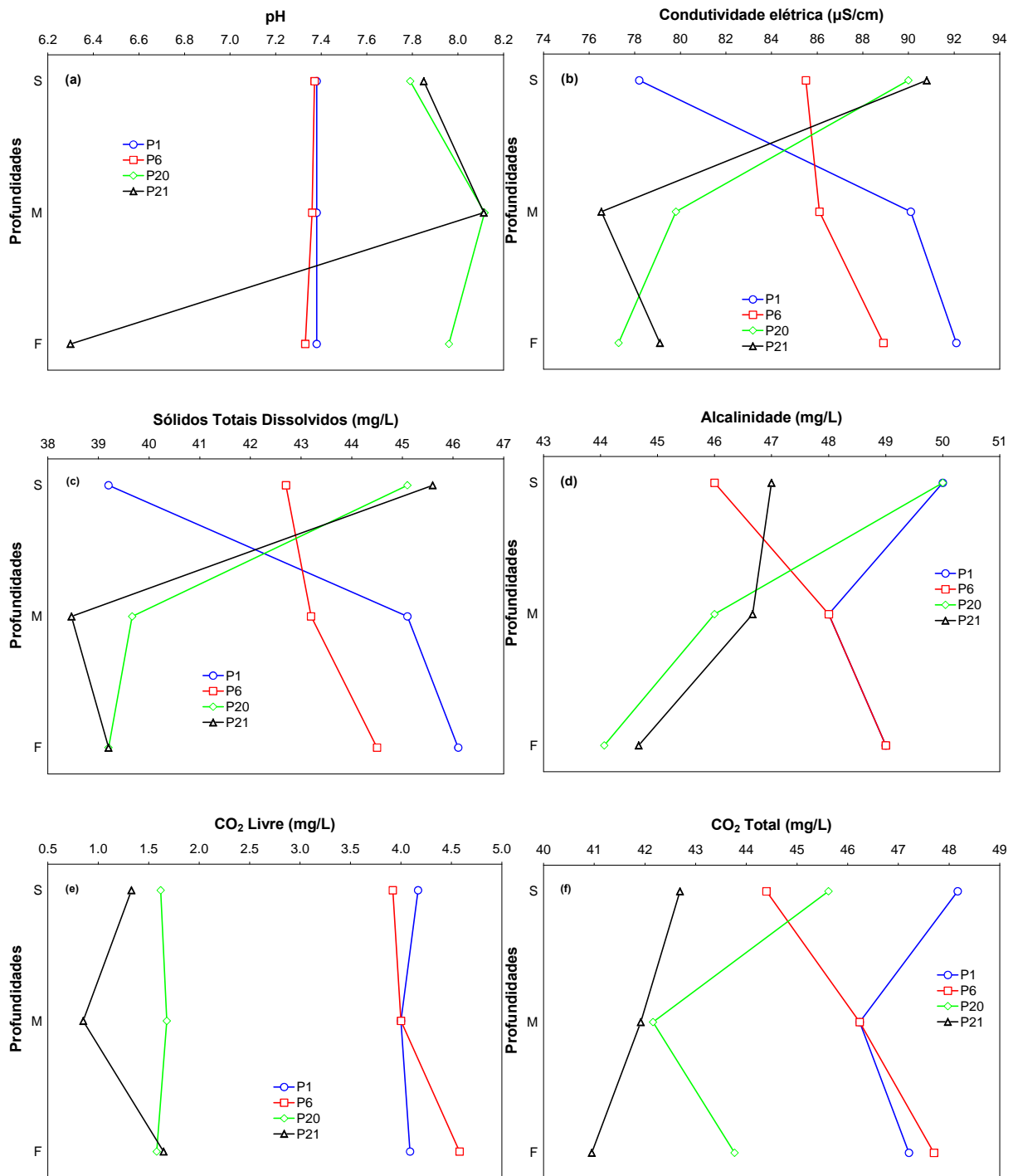


Figura 9. Perfil vertical dos valores de pH (a), condutividade elétrica (b), sólidos totais dissolvidos (STD) (c), alcalinidade (d), CO₂ Livre (e) e CO₂ Total (f) mensurado no corpo central do reservatório da UHE Cana Brava em dezembro de 2013.

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). Em dezembro de 2013, as concentrações de cloreto na superfície, meio e fundo de todos os pontos de coleta foram suficientemente baixas para que pudessem ser detectadas pelo método utilizado, dessa maneira todos os locais apresentaram concentrações inferiores ao limite máximo preconizado pela resolução CONAMA nº 357/2005 (250 mg/L).

Em ecossistemas aquáticos, o enxofre pode ocorrer em diferentes formas, tais como, como íon sulfato (SO_4^{2-}), íon sulfito (SO_3^{2-}), íon sulfeto (S^{2-}), gás sulfídrico (H_2S), entre outras. Dentre as várias formas de enxofre presentes na água, o íon sulfato e o gás sulfídrico são as mais frequentes. 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 2013, as concentrações de sulfato puderam ser detectadas nos pontos 1, 5, 8 e 18, contudo em pequenas concentrações (**Figura 10a**). Assim, todos os locais e profundidades monitoradas apresentaram concentrações do íon sulfato condizentes com o limite estabelecido na resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2 (250 mg/L).

As concentrações de sulfeto em todos os pontos da coleta realizada em dezembro de 2013 quando detectados também apresentaram valores muito baixos (**Figura 10b**). Portanto, todos os locais monitorados nesse mês apresentaram concentrações de sulfeto inferiores ao limite máximo determinado pela resolução CONAMA nº 357 (0,002 mg/L). Resultados parecidos foram registrados em setembro e junho de 2013.

Considerando que as concentrações de cloreto, sulfato e sulfeto em dezembro de 2013 foram inferiores ao limite de detecção dos respectivos métodos nos pontos 1, 6, 20 e 21, não serão apresentados aqui os gráficos dos perfis verticais desses parâmetros.

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 2013 as concentrações de ferro total variaram de 0,06 mg/L (ponto 21) a 3,42 mg/L (ponto 7) (média de 0,53 mg/L) (**Figura 10 d**). De fato, as maiores concentrações de ferro total têm sido registradas durante o período de chuvas na região, quando ocorre influência do sistema terrestre adjacente sobre o ambiente aquático.

Considerando o padrão vertical da concentração de ferro total foi possível observar maiores concentrações de ferro total no meio e fundo dos pontos monitorados (**Figura 11**). Provavelmente, as baixas concentrações de oxigênio dissolvido mensuradas nas maiores profundidades podem favorecer liberação de ferro do sedimento para a coluna da água.

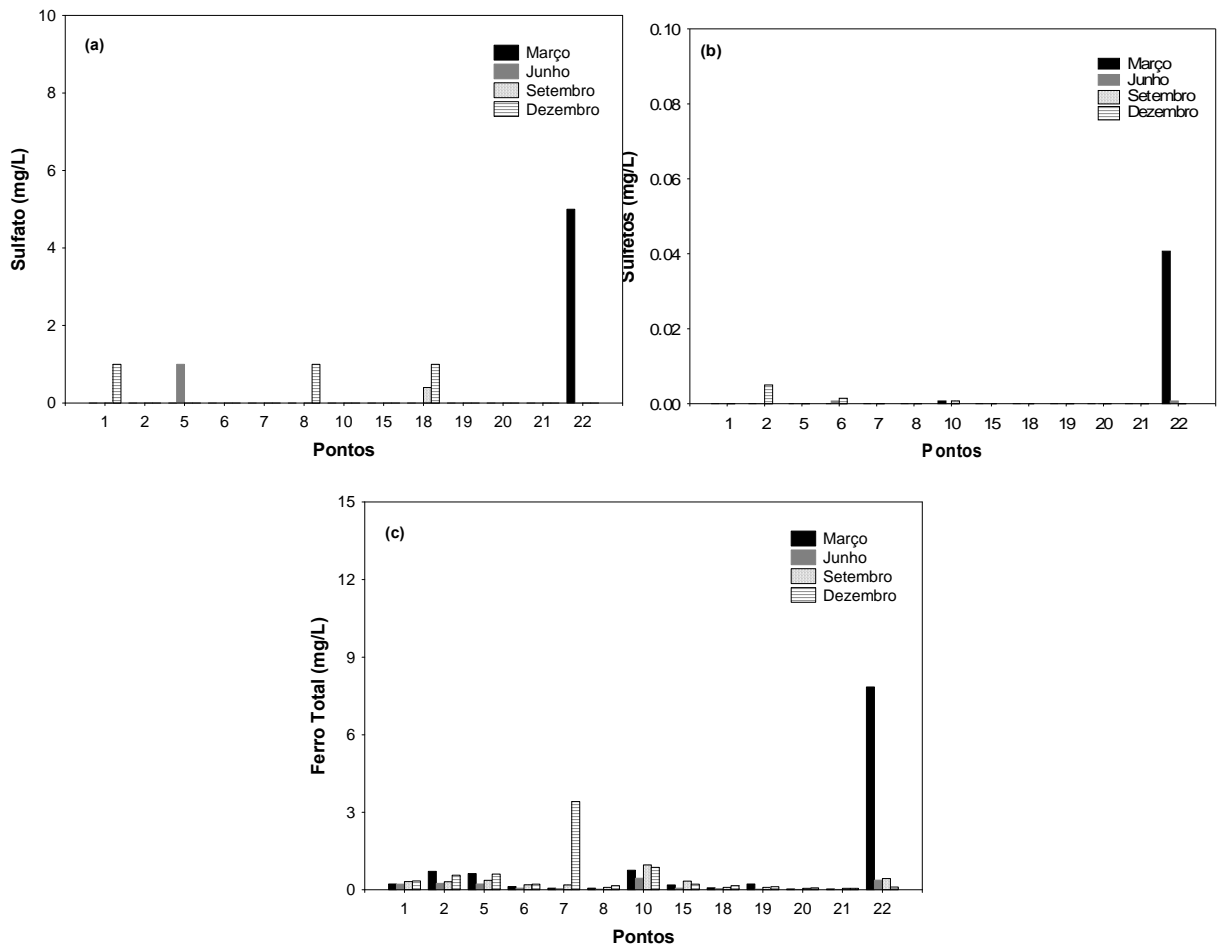


Figura 10. Concentrações de sulfato (a), sulfeto (b) e ferro total (c) mensuradas nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

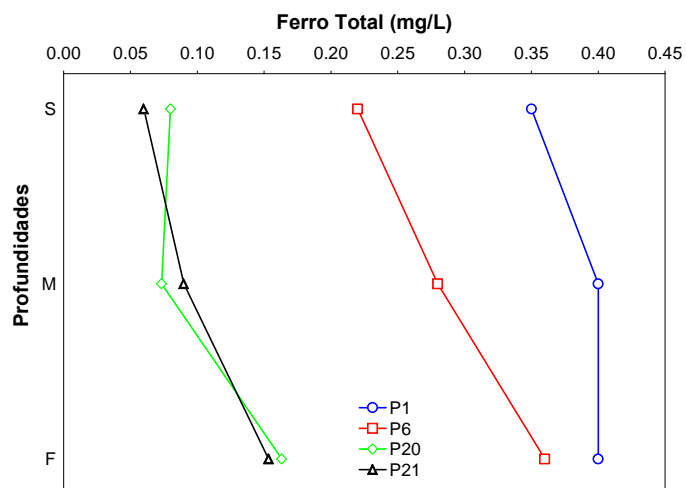


Figura 11. Perfil vertical das concentrações de ferro total no corpo central do reservatório, em dezembro de 2013.

Nutrientes fosfatados e nitrogenados

Em conjunto com o nitrogênio (N), 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 nas camadas mais profundas da coluna d'água, o fósforo presente no sedimento pode ser disponibilizado para a água. Portanto, mesmo sem fontes externas, o processo de eutrofização pode ocorrer (Kalff, 2002; Baumgarten e Pozza, 2001).

Em dezembro de 2013 os pontos 2 e 7 foram os únicos locais que foi possível detectar a presença de orto-fosfato na água (0,005 mg/L e 0,25 mg/L, respectivamente) (**Figura 11a**). A concentração de fósforo total na maioria dos pontos amostrados também foi inferior ao limite de detecção do método (<0,001 mg/L) e quando presente apresentou baixo valor (**Figura 11b**). Assim, nesse mês, todos os locais apresentaram concentrações de fósforo total inferiores ao limite máximo indicado na resolução CONAMA nº 357/2005 para ambientes lênticos, intermediários e lóticos. Além disso, nos pontos que tiveram coleta e análise ao longo do perfil vertical da coluna d'água as concentrações de fósforo total foram inferiores ao limite de detecção do método (os gráficos não foram apresentados).

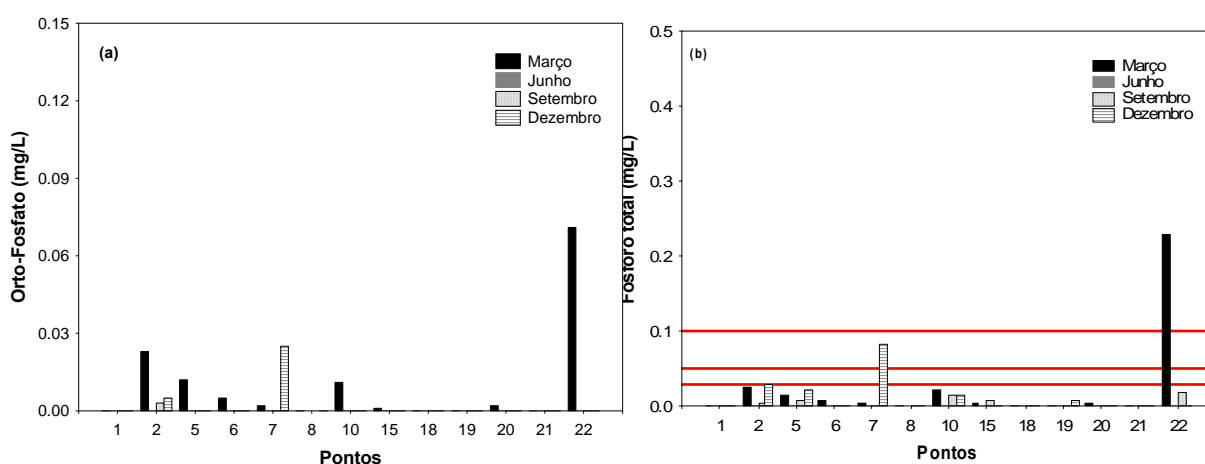


Figura 11. Concentrações de orto-fosfato (a) e fósforo total (b) mensuradas nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

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).

Considerando as formas inorgânicas de nitrogênio, as concentrações de nitrato (NO_3^-) variaram entre 0,05 mg/L (ponto 19) e 0,4 mg/L (ponto 2) (média de 0,25 mg/L) (**Figura 12a**). As concentrações de nitrito (NO_2^-) variaram de 0 mg/L a 0,019 mg/L (pontos 10 e 22, respectivamente) (média de 0,007 mg/L) (**Figura 12b**), enquanto que as concentrações de nitrogênio amoniacal variaram entre 0,009 mg/L e 0,53 mg/L (pontos 12 e 5, respectivamente) (média de 0,17 mg/L) (**Figura 12c**).

A concentração de nitrogênio orgânica em dezembro de 2013 variou de 0 mg/L a 0,3 mg/L (média 0,13 mg/L) (**Figura 12d**). A concentração média de nitrogênio orgânico desse mês foi similar ao observado em junho (0,17 mg/L) e menor ao mensurado em setembro e março de 2013 (0,20 mg/L e 0,52 mg/L, respectivamente).

O nitrogênio total de Kjeldahl (NTK) mede a concentração de nitrogênio orgânico mais o nitrogênio amoniacal. O NTK variou de 0,04 mg/L a 0,83 mg/L (média de 0,31 mg/L) (**Figura 12e**). Já o nitrogênio total, que indica todas as formas de nitrogênio presente na água, variou de 0,195 mg/L a 1,83 mg/L (média 0,61 mg/L) (**Figura 12f**). As concentrações médias de nitrogênio total de Kjeldahl e nitrogênio total registradas em dezembro de 2013 estiveram mais próximo do observado no mês de junho, sendo que as médias dos meses de março e setembro foram mais elevadas.

De maneira geral, 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 em dezembro de 2013 também apresentou concentrações de N-amoniaco inferiores ao limite indicado pela Resolução CONAMA.

Considerando o perfil vertical dos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava foi possível verificar que esses compostos nitrogenados se distribuem de forma diferente ao longo da coluna d'água. De maneira geral, o nitrito, o nitrogênio orgânico, NTK e nitrogênio total estão mais presentes no fundo e o nitrato e nitrogênio amoniacal não apresentam um padrão claro nos pontos amostrados (**Figuras 13a, b, c, d**).

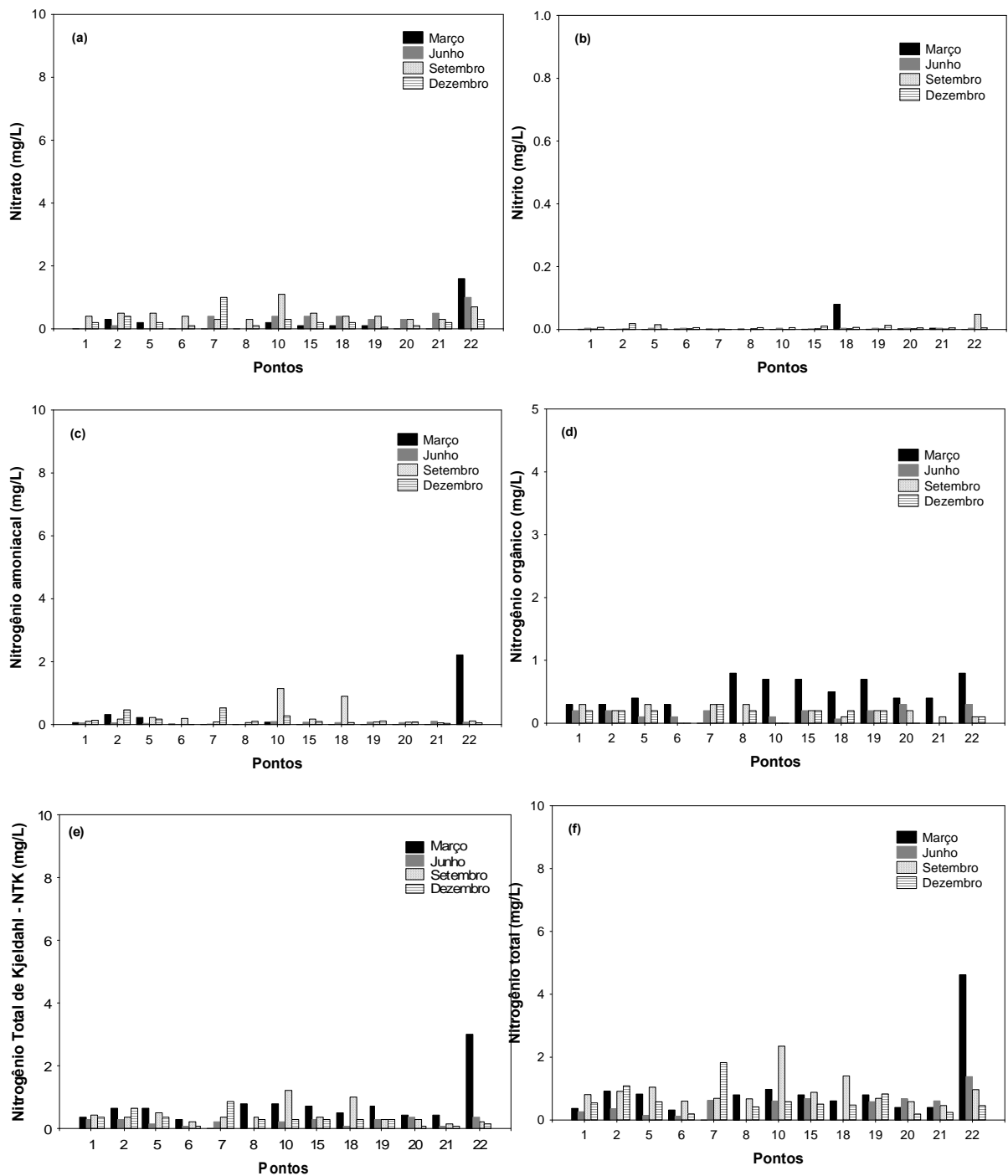


Figura 12. Concentrações de nitrato (a), nitrito (b), nitrogênio amoniacoal (c), nitrogênio orgânico (d), nitrogênio total de Kjeldahl (e) e nitrogênio total (f) mensuradas nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

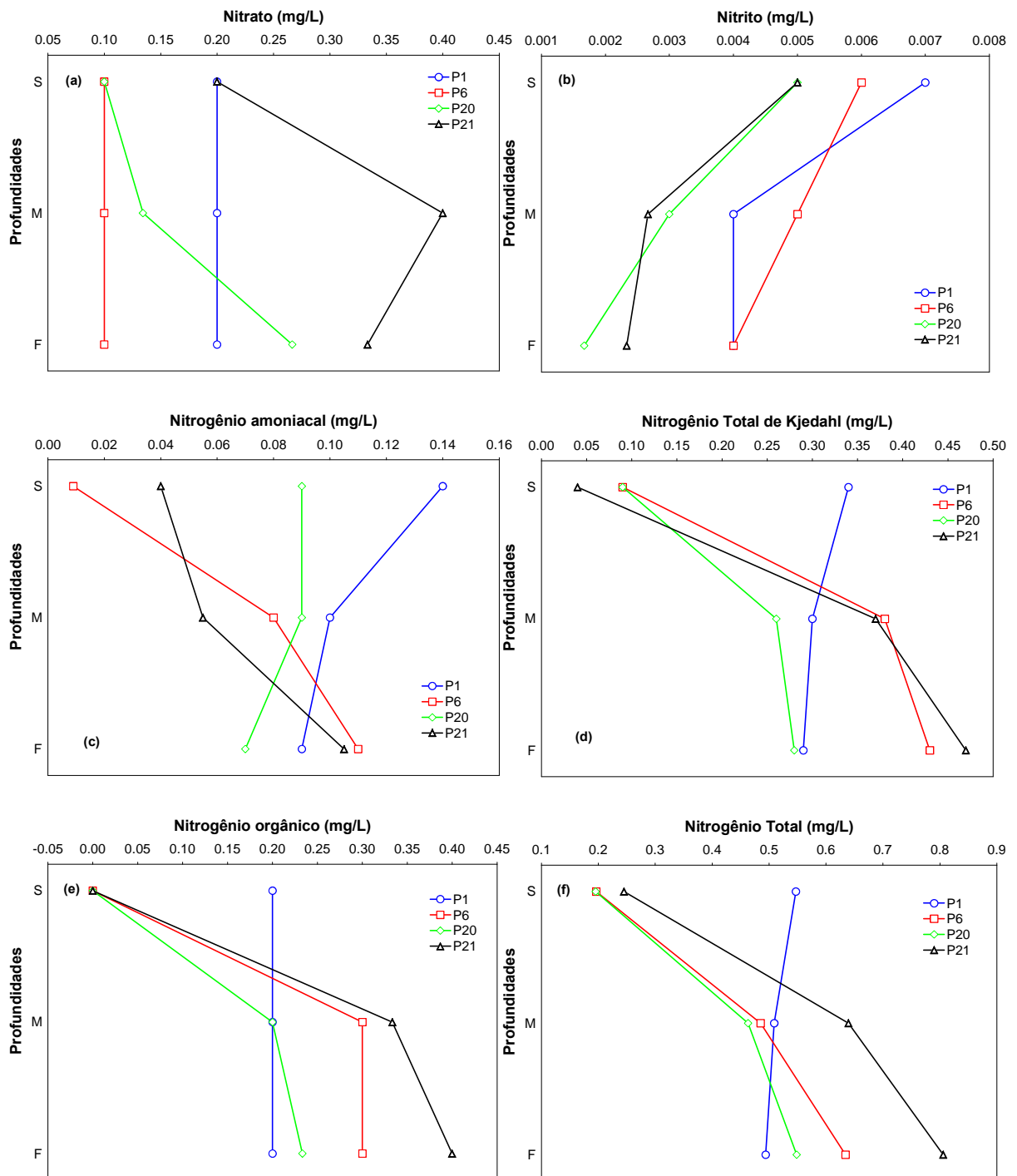


Figura 13. Perfil vertical das concentrações de nitrato **(a)**, nitrito **(b)**, nitrogênio amoniacal **(c)**, nitrogênio total de Kjeldahl **(d)**, nitrogênio orgânico **(e)** e nitrogênio total **(f)** mensuradas no corpo central do reservatório da UHE Cana Brava, em dezembro de 2013.

Clorofila-a

A partir de setembro de 2012, a análise de clorofila-a passou a ser realizada no ponto 21, localizado próximo à barragem. Esse local foi escolhido tendo em vista que representa a região com características que tendem a favorecer o

desenvolvimento da comunidade planctônica, sendo a região com menor velocidade da água (característica lântica) e maiores valores de transparência da coluna da água.

A concentração de clorofila-a do ponto 21 amostrado em dezembro 2013 menor que o mensurado em junho e maior que o observado em março e setembro de 2013 (**Figura 14**). Assim como nos meses anteriores a concentração de clorofila - a de dezembro foi inferior ao limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (30 µg/L) (**Figura 14**).

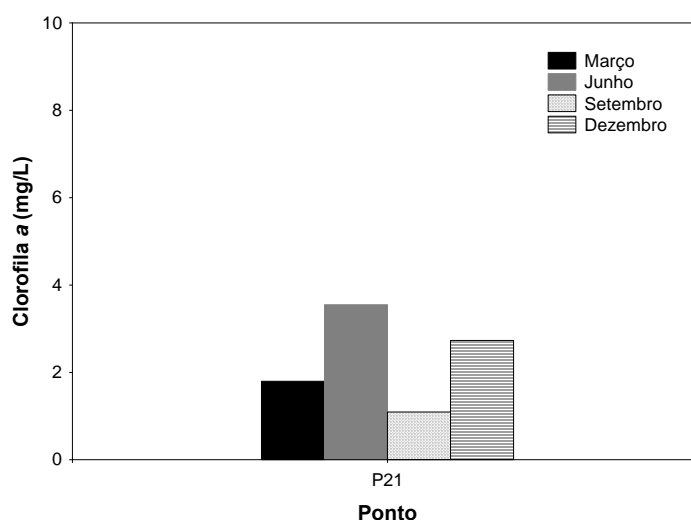


Figura 14. Concentrações de clorofila-a no ponto 21 mensurado em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

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). No trecho sob a influência do reservatório da UHE Cana Brava monitorado em dezembro de 2013 as concentrações de DBO₅ variaram entre 0,1 mg/L (ponto 15) e 2,8 mg/L (ponto 18) (**Figura 15**). Logo, todos os locais monitorados nesse mês apresentaram valores de DBO₅ inferiores ao limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (5,0 mg/L).

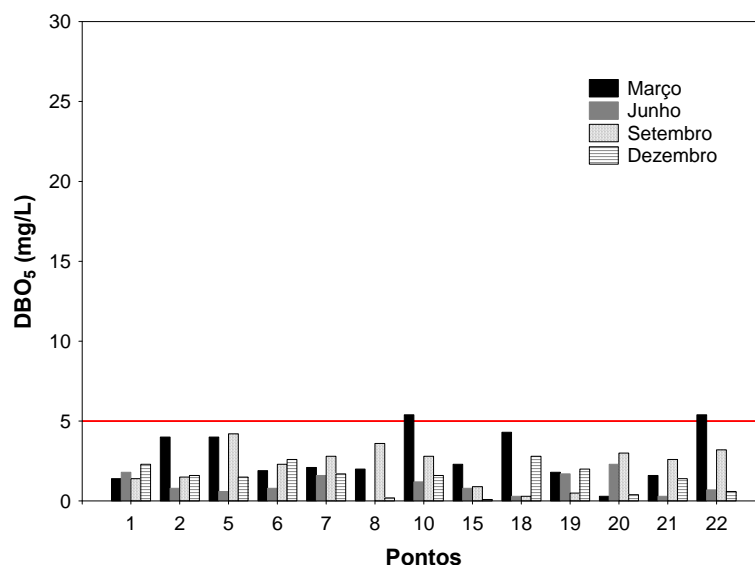


Figura 15. Valores de DBO₅ mensurados em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

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 2013, 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 pode ser observado em março, junho e setembro de 2013.

6.2. 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, em dezembro de 2013 a densidade de coliformes totais variou entre valores inferiores ao limite de detecção do método ($<18 \text{ NMP}/100\text{ml}$) e maiores do que $16.000,00 \text{ NMP}/100\text{ml}$ (**Figura 16a**). Ainda no mês de dezembro, a densidade de coliformes termotolerantes (fecais) variou entre valores inferiores ao limite de detecção do método ($<18 \text{ NMP}/100\text{ml}$) e $16.000,00 \text{ NMP}/100\text{ml}$ (**Figura 16b**). Nesse mês, os pontos 5 ($1.400,00 \text{ NMP}/100\text{ml}$) e 7 ($16.000,00 \text{ NMP}/100\text{ml}$) apresentaram densidade de coliformes termotolerantes superior ao limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 ($1.000 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$).

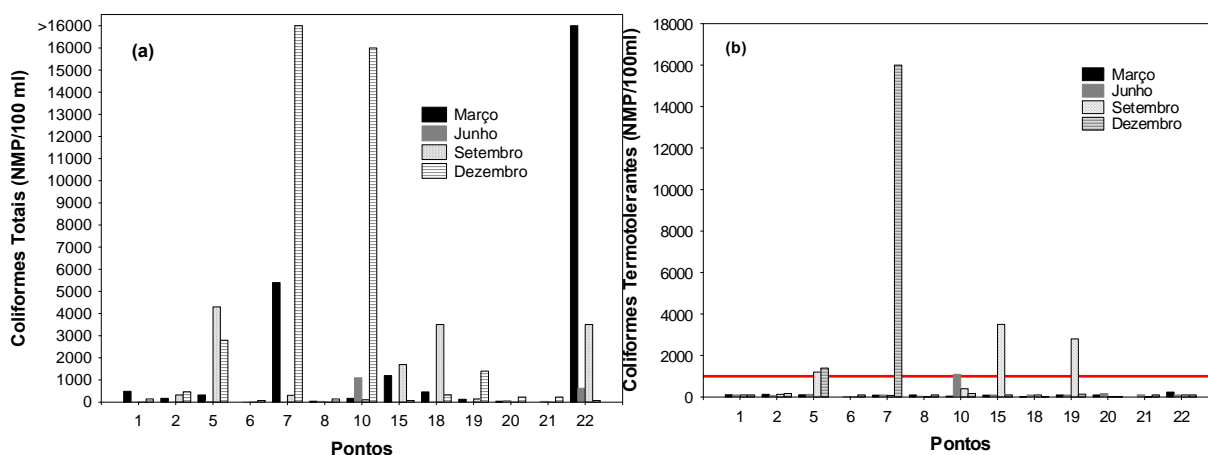


Figura 16. Densidade de coliformes totais (a) e coliformes termotolerantes (b) no trecho monitorado da UHE Cana Brava, em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

6.3. 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. Essa situação torna-se ainda mais limitante, caso exista produção de gases nocivos, tais como gás sulfídrico e metano, formados em condições anaeróbicas no ambiente (Esteves, 1998).

Com o objetivo principal de verificar a existência de estratificação térmica foi obtida a temperatura da água e concentração de oxigênio dissolvido nos pontos 20 e 21 em dezembro de 2013 (**Figura 17**). Nesse mês, a camada superficial e de fundo apresentaram diferenças de temperatura iguais a 0,22 °C no ponto 20 e 1,69 °C no ponto 21 (**Figura 17a**). Tais diferenças foram próximas ao que foi observado nos meses de setembro (0,58 °C no ponto 20 e 1,69 °C no ponto 21) e março de 2013 (1,2 °C no ponto 20 e 1,0 no ponto 21), e superiores àquelas registradas em junho de do mesmo ano (0,05 °C no ponto 20 e 1,1 °C no ponto 21).

A análise das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) demonstrou valores inferiores a 5,0 mg/L a partir de 17 metros de profundidade no ponto 20, com o mínimo de 2,89 mg/L no fundo. Já no ponto 21, a partir de 6m todos os pontos mais profundos apresentaram concentrações de OD menor que 5,0 mg/L (**Figura 17b**). De fato, baixas concentrações de oxigênio são esperadas em pontos mais profundos na coluna d'água, pois a reduzida quantidade de luz solar nessas camadas inviabiliza a atividade fotossintética dos organismos fitoplanctônicos e por consequência a produção de oxigênio. Além disso, por causa da sedimentação da matéria orgânica alóctone e/ou autóctone as taxas de decomposição desse material são maiores no fundo e, conseqüentemente, ocorre maior consumo desse gás por microorganismos decompositores. Contudo, vale ressaltar que nenhuma condição de anoxia (ausência de oxigênio) foi observada no período de dezembro de 2013.

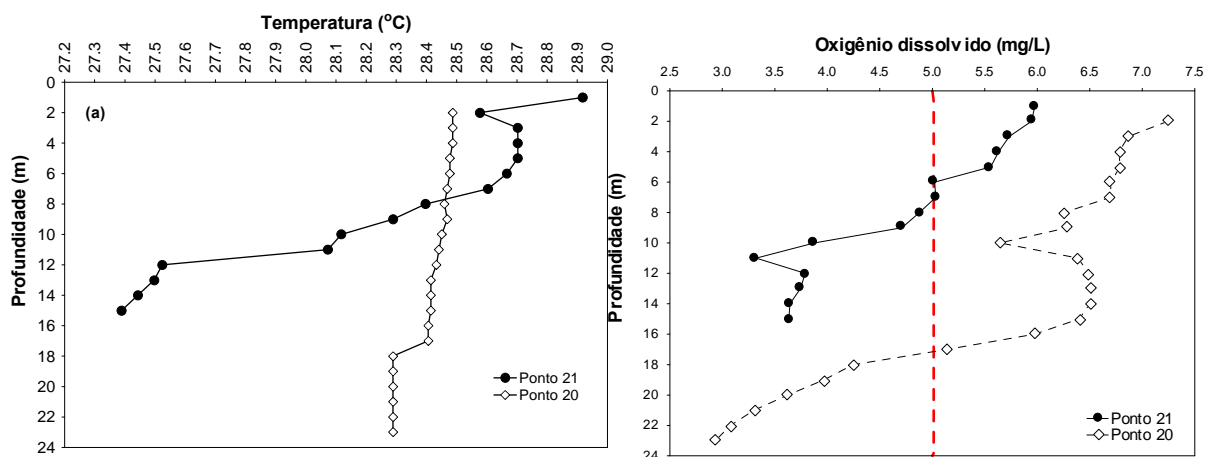


Figura 17. Perfil vertical dos valores de temperatura da água **(a)** e oxigênio dissolvido **(b)** em dois pontos localizados no corpo central do reservatório da UHE Cana Brava, em setembro de 2013.

7. Índice de Qualidade da Água (IQA)

Índices de qualidade da água (IQA) são bastante úteis para facilitar a comunicação entre público geral e especializado, 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.

Em dezembro de 2013, o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou valores de IQA que variaram entre 43,31 e 73,33 (**Figura 18**). Conforme pode ser verificado, os valores de IQA obtidos em dezembro são similares ao que foi observado em setembro de 2013. Além disso, ao longo do período de estudo é possível verificar que os menores valores de IQA são registrados no ponto localizado no rio Bonito (ponto 22), o que indica uma pior condição da qualidade na água nesse local.

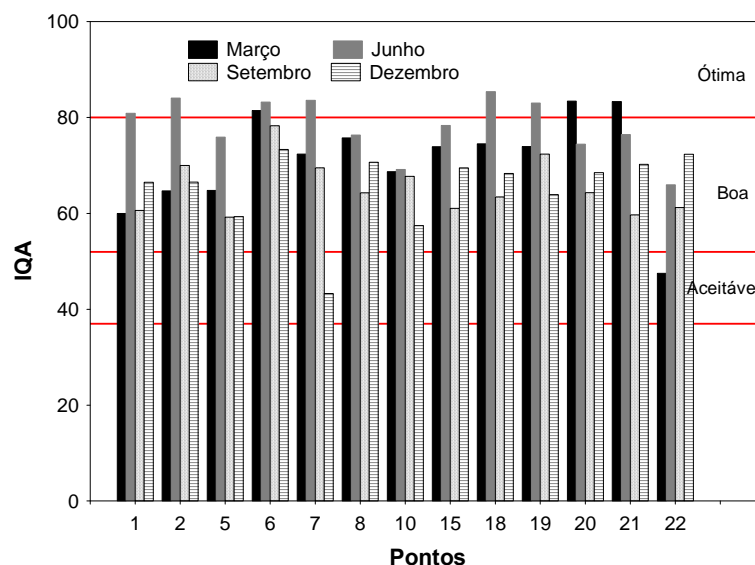


Figura 18. Valores de IQA obtidos no trecho monitorado da UHE Cana Brava, em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

8. Considerações Finais

De maneira geral, em dezembro de 2013 o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com considerável transparência da água, baixos valores de compostos nitrogenados e fosfatados, baixa concentração de clorofila-a (análise feita somente no ponto 21) e DBO₅, além de baixos valores de densidade de coliformes termotolerantes. Considerando que as águas do sistema monitorado são enquadradas na classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, os únicos locais que não apresentaram valores compatíveis com a legislação foram os pontos 5 e 7 que apresentaram densidade de coliformes termotolerantes maiores que o indicado. Essa desconformidade pode ser atribuída à proximidade dos locais a regiões urbanizadas, o que pode influenciar no depejo de resíduos humanos.

Comparando obtidos em dezembro de 2013 com as outras campanhas realizadas no mesmo ano, foi possível verificar condições mais próximas ao que foi observado em março, provavelmente devido a maior influência de chuvas que ocorrem na região nesses dois meses.

10. Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19th edn. American Public Health Association Publications, Washington DC, 1995.

BRASIL, 2005. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357. Classificação dos corpos de água e diretrizes para o enquadramento dos corpos de água superficiais e estabelecimento das condições e padrões de lançamentos de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 53, 18 de março de 2005. Seção 1, p. 58-63.

ESTEVES, 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.

LIND, O. T.; TERRELL, T. T.; KIMMEL, B. L. Problems in reservoir trophic-state classification and implications for reservoir management. In STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (ed.), **Comparative reservoir limnology and water quality management**. Kluwer Academic Press, Netherlands, 1993. p. 57-67.

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 2013, na área de influência da UHE Cana Brava. Os valores destacados em vermelho referem-se a resultados fora do limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

		Pontos												
	Prof.	1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22
Temperatura ambiente (°C)		25.00	26.00	25.00	25.00	27.00	24.00	23.00	23.00	23.00	23.00	24.00	24.00	24.00
Temperatura da água (°C)	S	26.77	28.44	25.50	27.55	25.94	28.22	27.27	27.27	28.22	27.27	28.83	28.50	27.88
	M	26.77			27.66							28.79	28.01	
	F	27.00			27.66							28.38	27.83	
Secchi		3.00	0.30	0.20	3.25							4.40	4.30	4.00
Turbidez (NTU)	S	0.82	30.90	33.70	2.57	139.00	1.91	19.46	2.62	2.60	3.62	0.93	0.53	1.07
	M	1.46			1.92							1.12	1.21	
	F	1.90			1.90							3.35	2.83	
pH	S	7.38	7.70	7.32	7.37	6.96	7.73	7.32	7.32	7.54	7.43	7.79	7.85	7.48
	M	7.38			7.36							8.12	8.11	
	F	7.38			7.33							7.96	5.36	
Condutividade elétrica (µcm/S)	S	78.20	20.40	28.00	85.50	130.00	90.90	67.40	89.10	93.60	92.20	90.00	90.80	89.30
	M	90.10			86.10							79.80	76.53	
	F	92.10			88.90							77.30	79.10	
CO ₂ total (mg/L)	S	48.17	13.80	16.59	44.40	68.16	42.19	34.15	44.88	44.07	46.76	45.62	42.69	45.42
	M	46.24			46.24							42.16	41.92	
	F	47.21			47.70							43.77	40.95	
CO ₂ livre (mg/L)	S	4.17	0.60	1.63	3.92	13.60	1.71	3.35	4.40	2.71	3.64	1.62	1.33	3.18
	M	4.00			4.00							1.68	0.85	
	F	4.09			4.58							1.58	1.65	
Oxigênio dissolvido (mg/L)	S	5.50	6.90	7.20	7.50	7.00	5.90	7.40	4.80	6.60	7.00	5.50	6.70	5.60
	M	5.70			5.30							5.33	3.55	
	F	4.60										4.64	3.47	

STD (mg/L)	S	39.20	13.17	13.00	42.70	65.10	44.50	33.70	44.60	46.80	46.10	45.10	45.60	44.70
	M	45.10			43.20							39.67	38.47	
	F	46.10			44.50							39.20	39.20	
Alcalinidade (mg/L)	S	50.00	15.00	17.00	46.00	62.00	46.00	35.00	46.00	47.00	49.00	50.00	47.00	48.00
	M	48.00			48.00							46.00	46.67	
	F	49.00			49.00							44.07	44.67	
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	<0.5
	M	<0.5			<0.5							<0.5	<0.5	
	F	<0.5			<0.5							<0.5	<0.5	
Ferro total (mg/L)	S	0.35	0.57	0.61	0.22	3.42	0.16	0.87	0.22	0.16	0.12	0.08	0.06	0.11
	M	0.40			0.28							0.07	0.09	
	F	0.40			0.36							0.16	0.15	
Sulfato (mg/L)	S	1.00	< 1	<1	<1	<1	1.00	<1	<1	1.00	<1	<1	<1	<1
	M	<1			<1							<1	<1	
	F	1.00			<1							<1	<	
Sulfeto (mg/L)	S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M	0.00			0.00							0.00	0.00	
	F	0.00			0.00							0.00	0.00	
Fósforo total (mg/L)	S	<0.001	0.03	0.02	<0.001	0.08	<0.001	0.02	<0.001	<0.001	0.01	<0.001	<0.001	<0.001
	M	0.00			<0.001							0.00	0.00	
	F	0.00			<0.001							0.04	0.00	
Orto-Fosfato (mg/L)	S	<0.001	0.01	<0.001	<0.001	0.03	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	M	<0.001			<0.001							<0.001	<0.001	
	F	<0.001			<0.001							<0.001	<0.001	
Nitrato (mg/L)	S	0.20	0.40	0.20	0.10	1.00	0.10	0.30	0.20	0.20	0.05	0.10	0.20	0.30
	M	0.20			0.10							0.13	0.40	
	F	0.20			0.10							0.27	0.33	
Nitrito (mg/L)	S	0.01	0.02	0.00	0.01	<0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	M	0.00			0.01							0.00	0.00	

	F	0.00			0.00							0.00	0.00	
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	S	0.14	0.47	0.18	0.01	0.53	0.11	0.28	0.10	0.07	0.12	0.09	0.04	0.06
	M	0.10			0.08							0.09	0.06	
	F	0.09			0.11							0.07	0.11	
NTK (mg/L)	S	0.34	0.67	0.38	0.09	0.83	0.31	0.28	0.30	0.27	0.32	0.09	0.04	0.16
	M	0.30			0.38							0.26	0.37	
	F	0.29			0.43							0.28	0.47	
Nitrogênio orgânico (mg/L)	S	0.20	0.20	0.20	<0.1	0.30	0.20	<0.1	0.20	0.20	0.20	<0.1	<0.1	0.10
	M	0.20			0.30							0.20	0.33	
	F	0.20			0.30							0.23	0.40	
Nitrogênio total (mg/L)	S	0.55	1.09	0.58	0.20	1.83	0.42	0.59	0.51	0.48	0.83	0.20	0.25	0.47
	M	0.51			0.49							0.46	0.64	
	F	0.49			0.63							0.55	0.81	
DBO ₅		2.30	1.60	1.50	2.60	1.70	0.20	1.60		2.80	2.00	0.40	1.40	
OG		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.
Coliforme Fecal (NMP/100 ml)		<18	170.00	1400.00	<18	16000.00	<18	170.00	<18	20.00	140.00	20.00	<18	<18
Coliforme total (NMP/100 ml)		140.00	460.00	2800.00	78.00	>16000	140.00	16000.00	78.00	330.00	1400.00	230.00	230.00	78.00

Biól. MSc. Juliana Machado do Couto Curti
Diretora Técnica
CRBio n° 30921/D

Life Projetos Limnológicos
www.lifelimnologia.com.br

Fone/Fax: (62) 3223 1530

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

