



**UHE CANA BRAVA  
PROGRAMA MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO**

**FASE OPERAÇÃO**

**XXVI RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL REFERENTE À  
CAMPANHA DE DEZEMBRO DE 2009**

**Janeiro de 2010**

## **EQUIPE RESPONSÁVEL**

### **Coordenadora do laboratório**

Bióloga M.Sc. Juliana Machado do Couto

### **Trabalhos de campo e laboratório**

Bióloga Kátia Bittar Haddad

Biólogo Wagner Batista Xavier

Biólogo Paulício Maconi Filho

Químico Brunno Misofante da Silva Gomides

## **SUMÁRIO**

1. APRESENTAÇÃO	01
2. METODOLOGIA	02
3. RESULTADOS	05
3.1. Parâmetros físico-químicos	05
3.2. Parâmetros bacteriológicos	32
3.3. vertical dos pontos 20 e 21	34
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
5. BIBLIOGRAFIA	37
ANEXO I	38

## **1. APRESENTAÇÃO**

Este Relatório Técnico apresenta o andamento do Programa de Monitoramento Limnológico da Usina Hidrelétrica Cana Brava, referente à coleta realizada em dezembro de 2009. Foram coletadas amostras de água, destinadas à determinação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em 13 pontos de coleta ao longo do reservatório.

O conteúdo deste Relatório Técnico inclui:

- (i) descrever os métodos analíticos que foram utilizados para determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas;
- (ii) apresentar os resultados obtidos em dezembro de 2009, em 13 pontos de monitoramento localizados no reservatório da UHE Cana Brava e, assim, contribuir com a caracterização limnológica deste trecho;
- (iii) realizar um comparação entre os meses monitorados no ano de 2009;
- (iv) comparar os resultados obtidos com os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para águas da Classe 2.

## 2. METODOLOGIA

### Variáveis físicas, químicas e bacteriológicas

#### Coleta das amostras

Foram coletadas amostras de água em 13 pontos de coletas (Tabela 1). As coletas de água foram realizadas com barco. Nas estações localizadas no corpo central do reservatório (pontos 1, 6, 20 e 21) foram coletadas amostras de superfície, meio e fundo. Nos demais pontos, foram amostrados somente água na superfície. Os parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_5$ ), coliformes totais e coliformes fecais foram determinados apenas na superfície em todos os pontos amostrados. As amostras de água foram coletadas com uma garrafa de Van Dorn horizontal com capacidade para 3 litros, a qual foi submersa até a profundidade desejada, presa num cabo de poliamida graduado.

Em campo foram obtidos os valores de pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD) (potenciômetro digital), oxigênio dissolvido, porcentagem de saturação de oxigênio, temperatura da água (YSI 550A), temperatura do ar (termômetro de mercúrio) e transparência da água (disco de Secchi).

A profundidade do disco de Secchi também foi utilizada para estimar a extensão da zona eufótica. A porção iluminada da coluna da água é denominada zona eufótica, e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática. O limite inferior da zona eufótica é geralmente assumido como sendo aquela profundidade onde a intensidade da radiação correspondente a 1% da que atinge a superfície. Esta profundidade da coluna da água é também chamada de “ponto de compensação”, uma vez que a produção primária líquida é aproximadamente igual à respiração das comunidades (Esteves, 1998; Kalff, 2002). Desta maneira, assumiu-se como o meio da coluna da água (para as coletas nos pontos 1, 6, 20 e 21) o final da zona eufótica. A zona afótica (onde não ocorre penetração de luz), localizada nas maiores profundidades foi classificada como fundo nestes mesmos pontos.

### Análise das amostras

As amostras destinadas à análise laboratorial foram preservadas, e encaminhadas para o laboratório de limnologia, em Goiânia, para realização das análises. A determinação dos parâmetros físicos e químicos foi analisada segundo os métodos do manual de operação do laboratório portátil DR 2010 da HACH, conforme relacionados na Tabela 2.

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

<b>PONTO</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>LONG.(W)</b>	<b>LAT.(S)</b>	<b>REFERENCIAL</b>
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

Tabela 2. Métodos de análise e faixa de detecção dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológico.

Parâmetro	Metodologia	Faixa	Referências	
			USEPA *	Standard Methods
Temperatura	termômetro	0 – 100°C		-
Transparência da água	disco de secchi	0 – Desaparecimento		-
pH	potenciométrico	0 -14		4500 - H <sup>+</sup> - B
Condutividade elétrica	potenciométrico	0 – 199,9µS/cm		2510 - B
Sólidos totais dissolvidos	potenciométrico	0 – 750 mg/l		-
Oxigênio dissolvido	potenciométrico	0 – 30 mg/L O <sub>2</sub>		4500 - O - G
Oxigênio dissolvido (Winkler)	iodométrico	0 – 30 mg/L O <sub>2</sub>		4500 - O - B
Turbidez	nefelométrico	0-1000 NTU		2130 - B
Alcalinidade	titulação com ácido sulfúrico	10 – 4000 mg/l CaCO <sub>3</sub>	X	2320B
Acidez	titulação com hidróxido de sódio	0 - 400 mg/L CaCO <sub>3</sub>	X	23/10B
Cloreto	titulação com nitrato de mercúrio	0 – 40 mg/l Cl <sup>-</sup>	X	4500 - Cl <sup>-</sup> - C
Dureza total	titulação usando método EDTA	10 – 4000 mg/l CaCO <sub>3</sub>	X	2340C
Ferro total	Espectrofotometria pelo método Ferro Ver	0 – 3,00 mg/L	X	3500B
Nitrato	Espectrofotometria pelo método Redução de Cádmio	0 – 4,5 mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		4500 - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - E
Nitrito	Espectrofotometria pelo método Diazotação	0 – 0,300 mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	X	4500 - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - B
Nitrogênio amoniacal	Espectrofotometria pelo método do Salicilato	0 – 2,50 mg/L NH <sub>3</sub>		4500 - NH <sub>3</sub>
Orto-fosfato	Espectrofotometria pelo método do Ácido Ascórbico	0 – 2,50 mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	X	4500 - P - E
Fósforo total	Espectrofotometria pelo método do Ácido Ascórbico	0 – 2,50 mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	X	
Sulfato	Espectrofotometria pelo método do Sulfa Ver 4	0 – 70 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	X	4500 - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - F
Sulfeto	Espectrofotometria pelo método do Azul de Metileno	0 – 0,600 mg/l S <sup>-</sup>	X	4500 - S <sup>2-</sup> - D
DBO	diferença entre oxigênio final e inicial	-		5210 - B
Coliformes fecais	tubos múltiplos	-		9222 - D / 9221 - E
Coliformes totais	tubos múltiplos	-		9222 - B / 9221 - B

Metodologias adaptadas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

\* Metodologia aprovada pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (USEPA – United States Environmental Protection Agency).

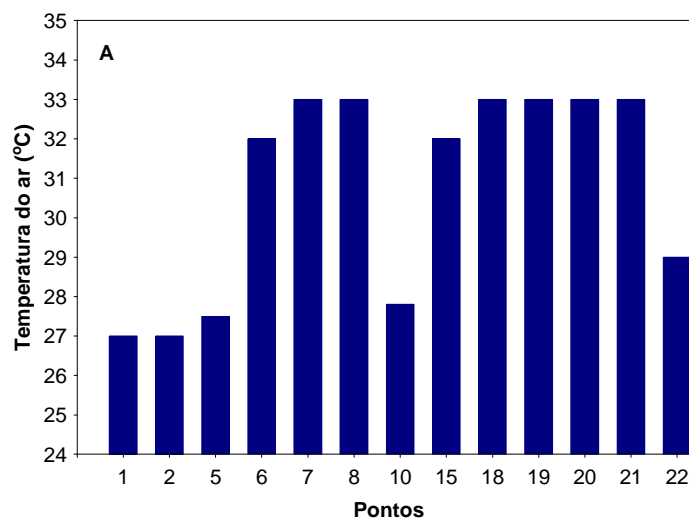
### 3. RESULTADOS

Os resultados das análises se encontram no Anexo I.

#### 3.1. Parâmetros Físicos e Químicos

Em dezembro de 2009, a temperatura média do ar foi igual a 30,8°C (Figura 1A), semelhante ao valor médio registrado em setembro de 2009 (30,5°C). Os valores da temperatura da água foram, em média, iguais a 29,7°C na superfície, 28,8°C no meio e 27,4°C no fundo dos pontos amostrados (Figura 1B). Tais valores foram superiores àqueles registrados em setembro de 2009 (valores médios iguais a 28,77°C na superfície, 26,6°C no meio e 25,8°C no fundo) e similares aos obtidos em fevereiro de 2009 (valores médios em fevereiro iguais a 29,32°C na superfície, 29,7°C no meio e 28,9°C no fundo), demonstrando a influência sazonal sobre as características limnológicas.

Em dezembro, a maior diferença nos valores entre a superfície e fundo da coluna da água foi observado no ponto 6 (diferença igual a 3,5°C), seguido pelo ponto 21 (2,8°C). De maneira geral, tais valores foram inferiores àqueles registrados no mês de setembro (4,3°C no ponto 6 e 4,52°C no ponto 21) e similares aos obtidos em fevereiro de 2009 (0,8°C no ponto 6; 2,3°C no ponto 20 e 1,9°C no ponto 21). Assim, pode-se considerar que, no mês de setembro, houve a estratificação térmica da coluna da água no reservatório da UHE Cana Brava, ao contrário do observado em fevereiro e dezembro de 2009 (período de chuvas).





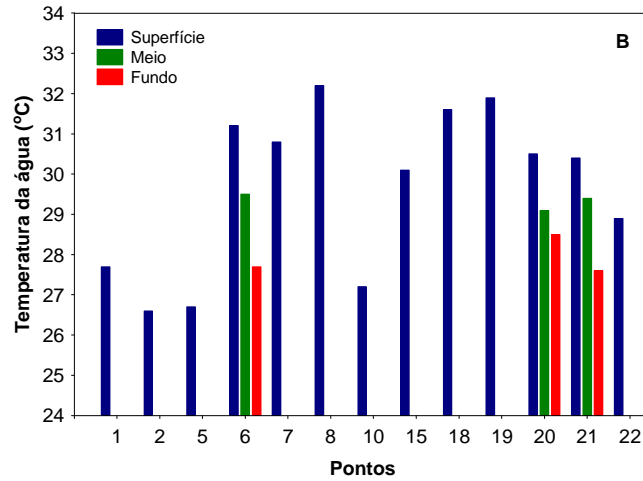
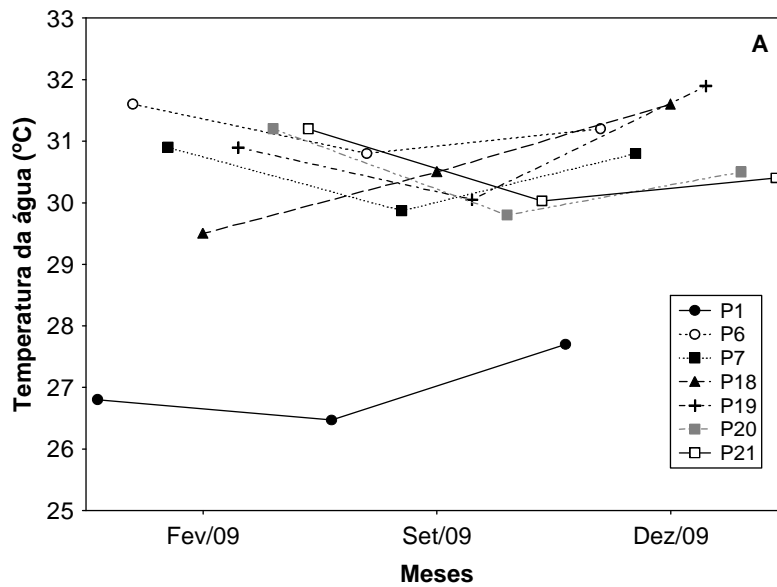


Figura 1. Valores da temperatura do ar (A) e temperatura da água (B) em dezembro de 2009.

Considerando a variabilidade temporal, pode-se observar a influência da sazonalidade no trecho monitorado, tendo em vista que os maiores valores de temperatura da água foram registrados em fevereiro e dezembro de 2009 (período de chuvas na região) (Figura 2).



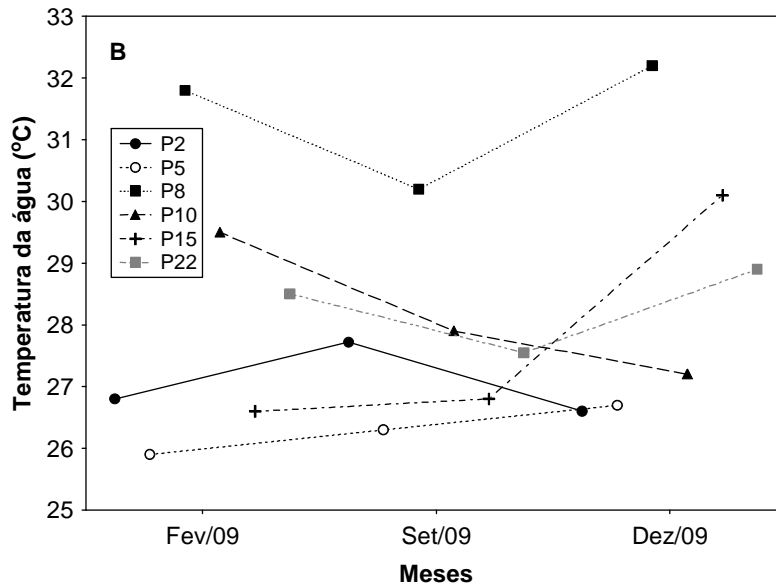


Figura 2. Valores da temperatura da água mensurados na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

Em dezembro de 2009, as concentrações de oxigênio dissolvido foram, em média, iguais a 8,2 mg/L; 6,55 mg/L e 4,65 mg/L, na superfície, meio e fundo, respectivamente (Figura 3). Na superfície da coluna da água, tais concentrações variaram entre 5,5 mg/L (pontos 1 e 15 – foz do córrego Florêncio e jusante da barragem, respectivamente) e 10,3 mg/L (ponto 22 – rio Bonito). Considerando o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2 (5,0 mg/L), a superfície de todos os pontos de coleta apresentaram concentrações desse gás superiores a 5,0 mg/L. Concentrações inferiores a 5,0 mg/L foram detectadas no meio e fundo do ponto 1 e fundo dos pontos 20 e 21 (Figura 3).

De maneira geral, em 2009, as menores concentrações desse gás foram mensuradas em fevereiro (média igual a 6,67 mg/L no corpo central do reservatório e 6,92 mg/L nos tributários) (Figura 4). Considerando a variabilidade espacial, as menores concentrações de oxigênio dissolvido foram detectadas no ponto 1 (média igual a 4,9 mg/L;  $IC_{95\%} = 2,93-6,87$  mg/L) e no ponto 15 (média igual a 5,93 mg/L;  $IC_{95\%} = 4,07-7,79$  mg/L) (Figura 4).

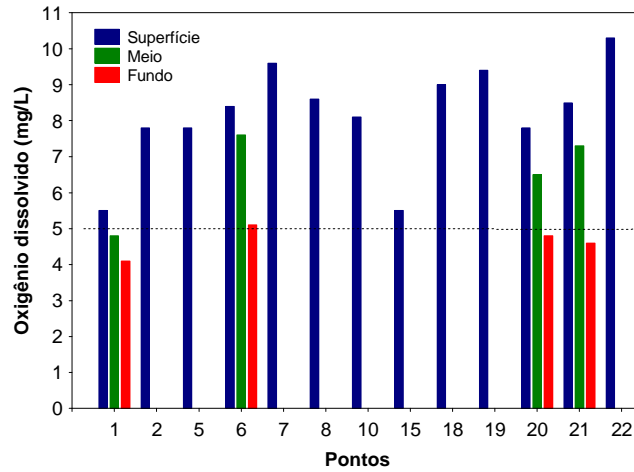


Figura 3. Concentração de oxigênio dissolvido.

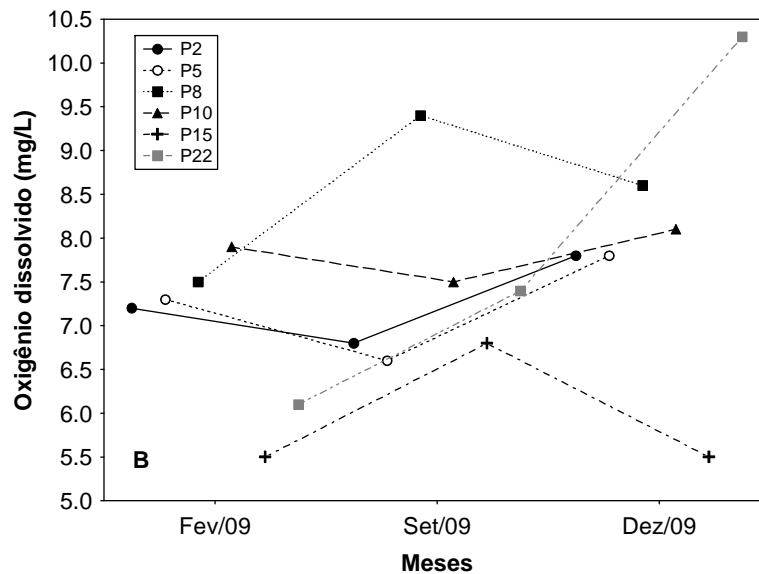
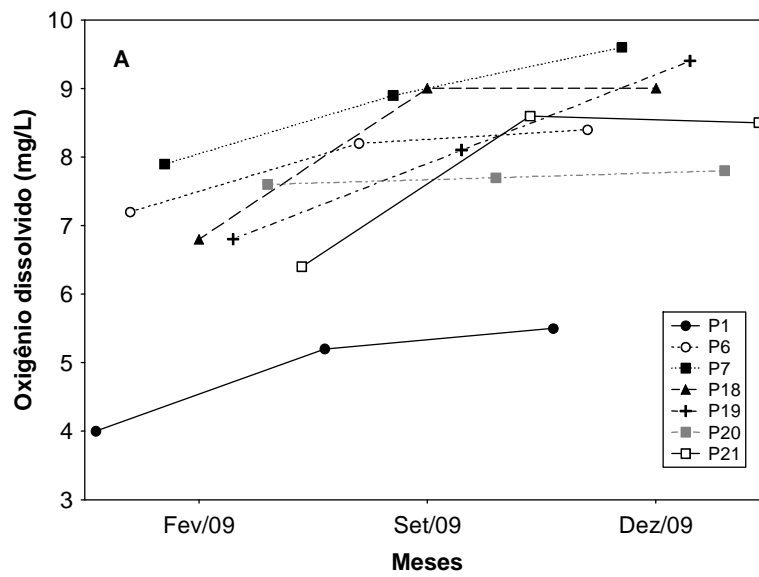


Figura 4. Concentrações de oxigênio dissolvido mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

### **Variáveis indicadoras de luminosidade subaquática**

Em dezembro de 2009, o maior valor de transparência da água (3,0 m) foi obtido no ponto 18 (praia de Minaçu – parte interna) (Figura 5). Nesse mês, houve redução nos valores de transparência no ponto 21 (próximo à barragem), comparando com setembro e fevereiro de 2009 (valor igual a 3,3 m em fevereiro; 4,8 m em setembro e 1,9 m em dezembro de 2009).

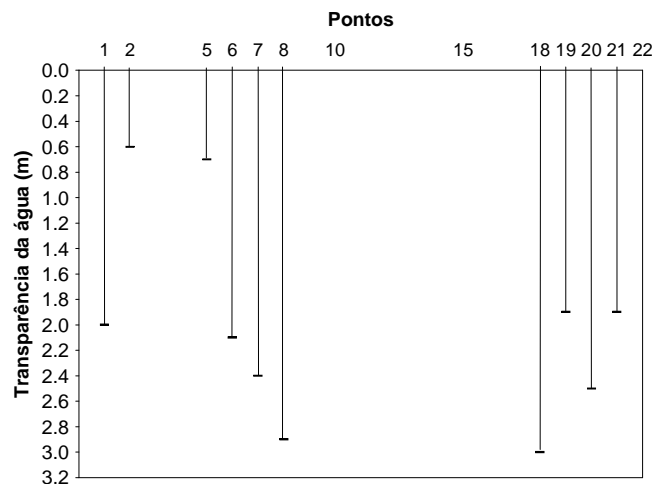


Figura 5. Valores de transparência da água mensurados em dezembro de 2009.

Os valores de turbidez corroboram os resultados da transparência da água, ou seja, o reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas transparentes ao longo de todo o ano de 2009. Em dezembro de 2009, os valores de turbidez variaram entre 1,29 NTU e 64,2 NTU (ponto 2 – rio Preto) (Figura 6). Assim, nesse mês, todos os locais monitorados apresentaram valores de turbidez inferiores ao limite preconizado pela resolução CONAMA nº 357/2005 (100 NTU).

De maneira geral, em 2009, os menores valores de turbidez foram detectados no corpo central do reservatório (média igual a 1,9 NTU), tendo em vista que o maior valor (4,8 NTU) foi mensurado no ponto 1 em fevereiro de 2009 (Figura 7A). Dentre os tributários, os maiores valores de turbidez também foram registrados em fevereiro de 2009, tendo em vista que nesse mês os pontos 5 (rio São Félix) e 22 (rio Bonito) apresentaram valores superiores a 100 NTU (Figura 7B). Assim, os pontos localizados no eixo central do reservatório da UHE Cana Brava apresentam os maiores valores de transparência,

provavelmente devido as maiores taxas de sedimentação do material em suspensão nesta região.

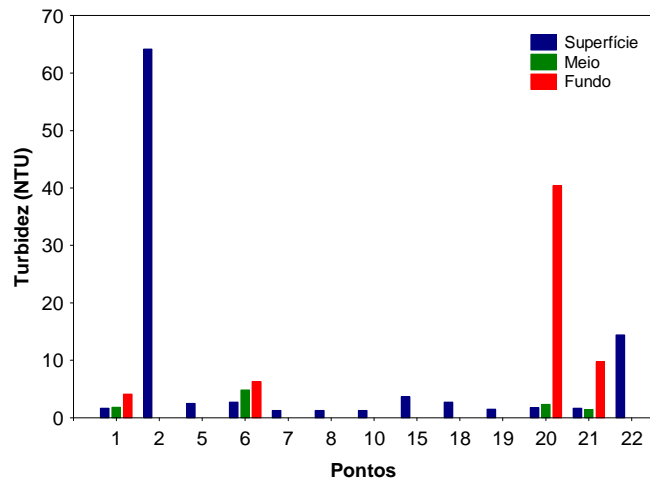
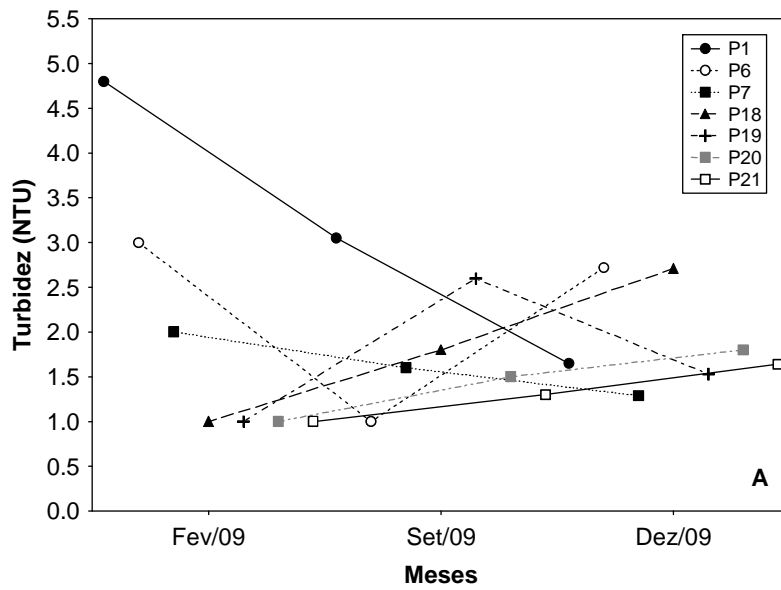


Figura 6. Valores de turbidez.



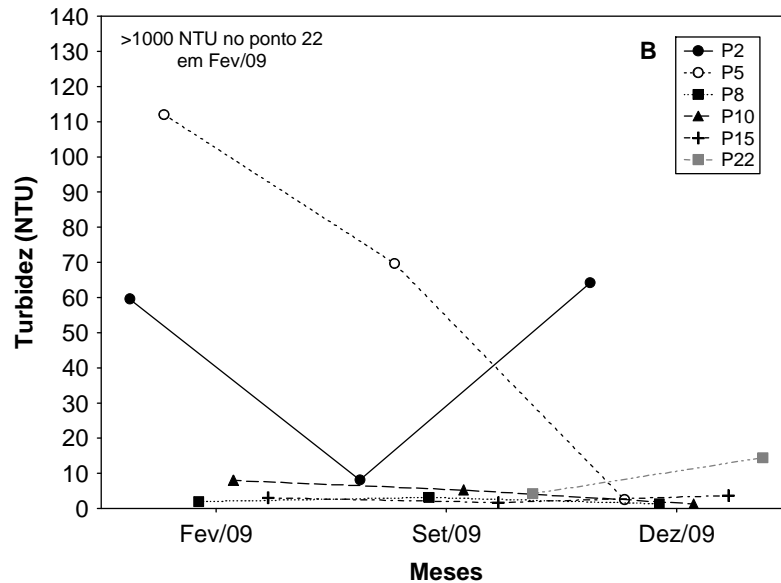


Figura 7. Valores de turbidez mensurados na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

**pH, condutividade elétrica, STD, alcalinidade e dureza**

Em dezembro, os valores de pH variaram entre 6,7 e 8,33 (média igual a 7,84) (Figura 8). De maneira geral, todos os locais monitorados apresentaram valores de pH dentro do limite preconizado pela Resolução CONAMA para águas de classe 2 (pH entre 6,0 e 9,0). Além disso, as águas do reservatório podem ser consideradas neutras, ocorrendo poucas transgressões da resolução CONAMA, durante o período monitorado na fase de operação do reservatório.

Entre fevereiro e dezembro de 2009, os maiores valores médios de pH foram registrados no corpo central do reservatório (Figura 9). Além disso, os menores valores de pH foram registrados nos pontos 1, 2 e 15 (Figura 9A, B).

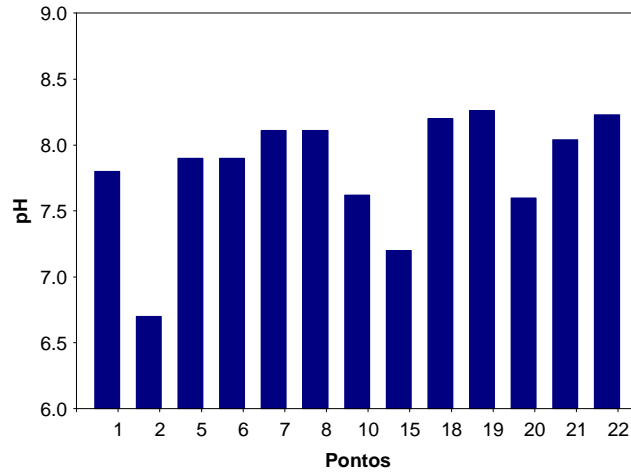


Figura 8. Valores de pH.

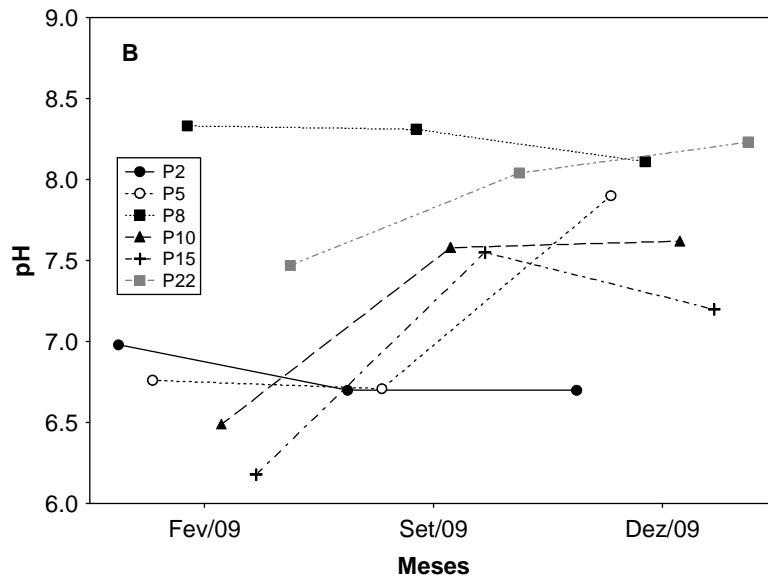
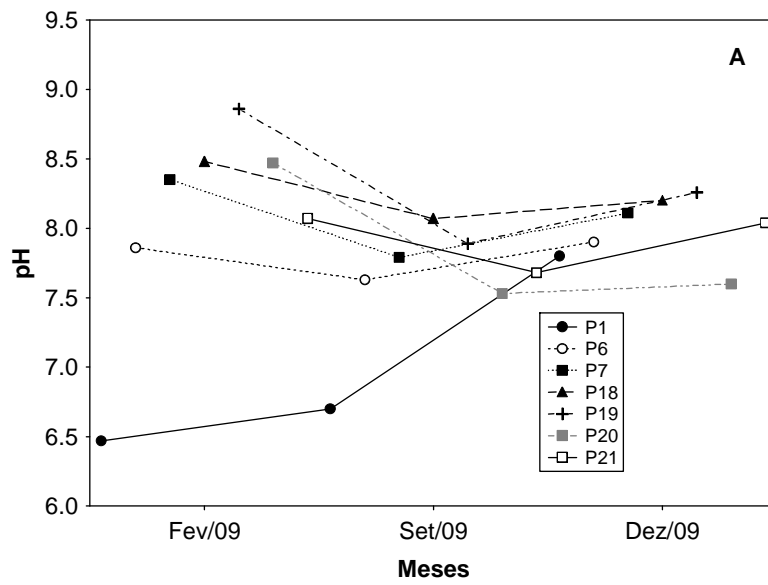


Figura 9. Valores de pH mensurados na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

Em dezembro de 2009, os valores de condutividade elétrica foram, em média, iguais a 84,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na superfície; 87,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no meio e 89,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no fundo (Figura 10), sendo similares àqueles obtidos no mês de setembro. Tais valores variaram entre 23  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ponto 2) e 153  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ponto 22) (Figura 10).

De maneira geral, os valores de condutividade elétrica foram similares entre os pontos de coleta localizados no corpo central do reservatório (Figura 11A). Por outro lado, entre os tributários, destacam-se que os maiores valores foram registrados no ponto 22 (rio Bonito), enquanto que os menores foram mensurados nos pontos 2 e 5 (rio Preto e rio São Félix, respectivamente) (Figura 11B). Considerando a variabilidade temporal, ao longo dos três meses de monitoramento em 2009, os maiores valores de condutividade elétrica foram obtidos no mês de fevereiro.

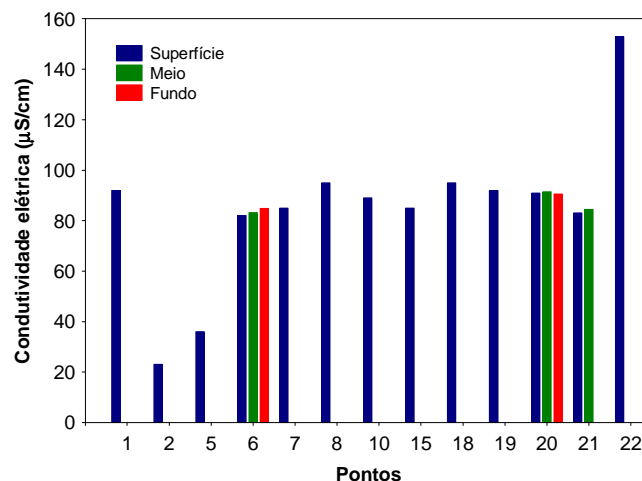


Figura 10. Valores de condutividade elétrica.



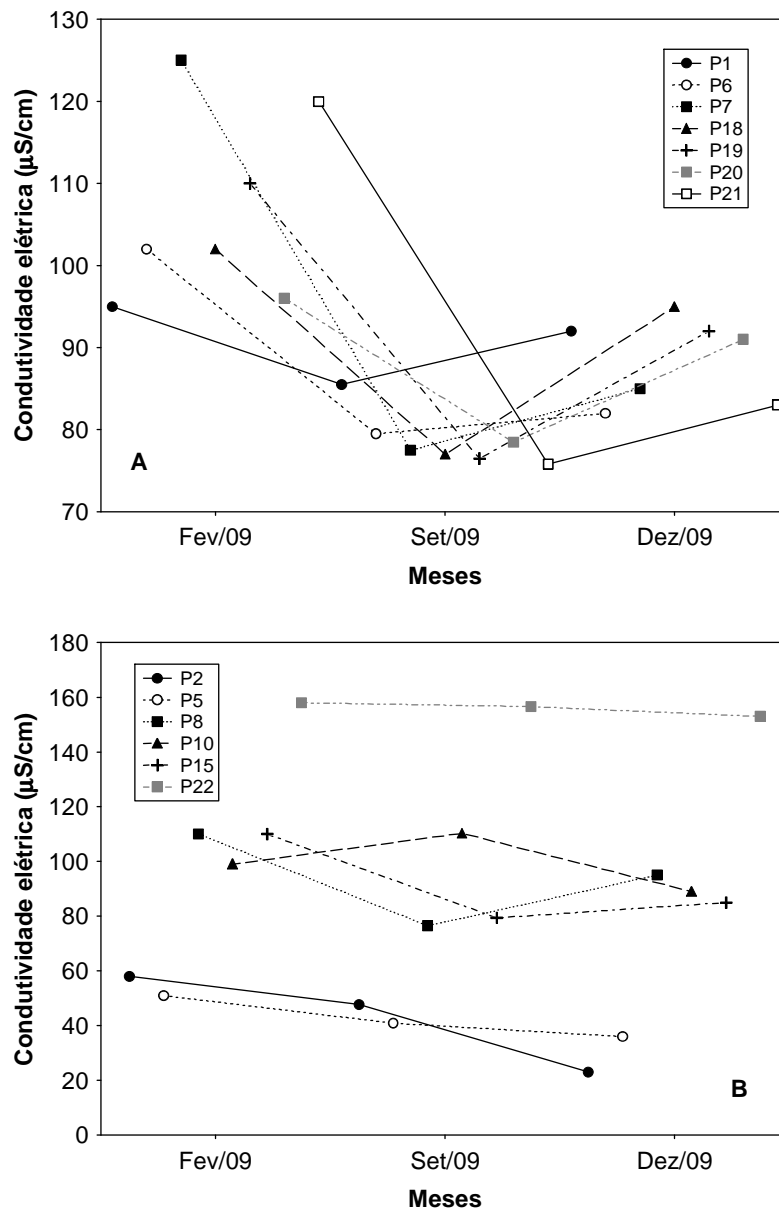


Figura 11. Valores de condutividade elétrica mensurados na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

As concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) foram, em média, iguais a 41,85 mg/L na superfície; 32,8 mg/L no meio e 32,1 mg/L no fundo (Figura 12). Tais valores variaram entre 11 mg/L (ponto 2) e 77 mg/L (ponto 22) (Figura 12). De maneira geral, ao longo de todo o período de monitoramento limnológico, todos os locais apresentaram concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (500 mg/L).

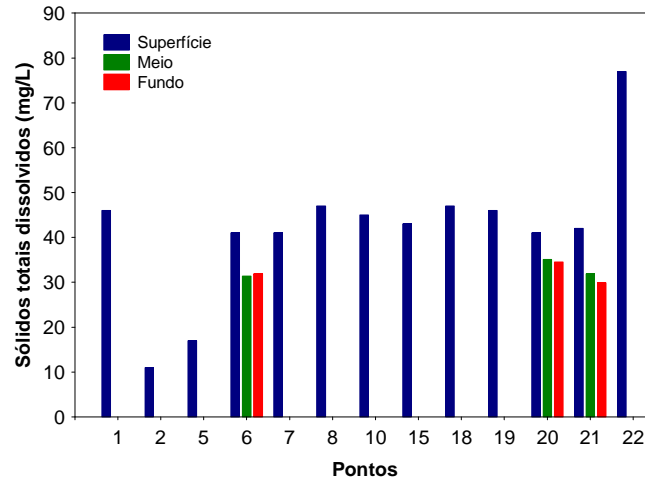


Figura 12. Concentração de sólidos totais dissolvidos (STD).

Em média, os valores de alcalinidade foram iguais a 39 mg/L na superfície, 40,5 mg/L no meio e 40,5 mg/L no fundo dos pontos amostrados (Figura 13). O maior valor (66 mg/L) foi registrado no ponto 22 (rio Bonito). Os valores de alcalinidade foram similares entre os pontos de coleta localizados no corpo central do reservatório (Figura 14A). Entre os tributários, destaca-se que os maiores valores foram registrados no ponto 22 (rio Bonito), enquanto que os menores foram mensurados no ponto 5 (rio São Félix) (Figura 14B).

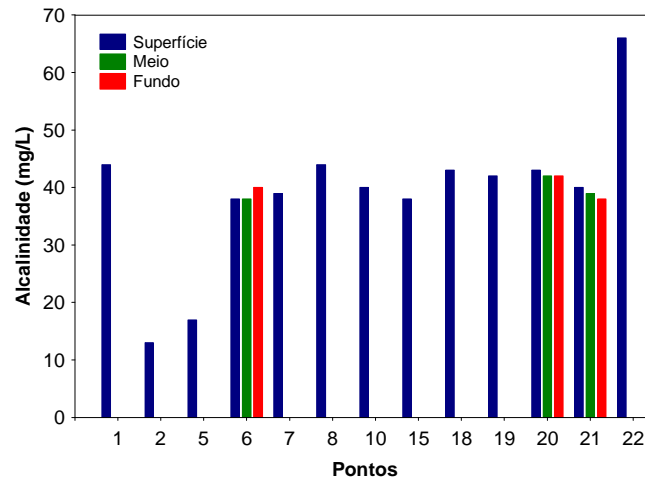


Figura 13. Valores de alcalinidade.

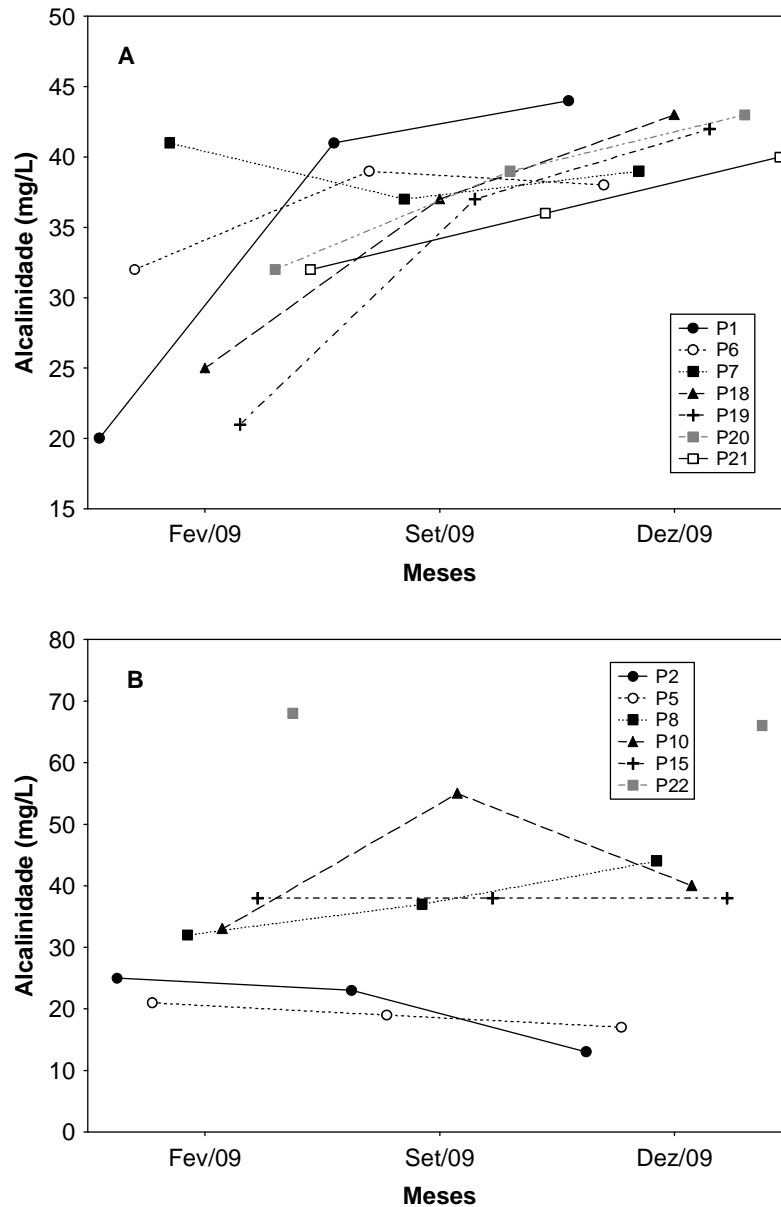


Figura 14. Valores de alcalinidade mensurados na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

A dureza da água depende basicamente da concentração de sais de cálcio e magnésio dissolvidos. Estes íons normalmente ocorrem sob a forma de carbonatos e bicarbonatos e são importantes também para a condutividade, pH e alcalinidade. Águas com teores destes sais inferiores a 125 mg/l são classificadas como moles; de 125 a 230 mg/l, como médias ou ligeiramente duras e de 230 a 450 mg/l como duras. Esta classificação não tem aplicação biológica, somente é importante em termos de tratamento de água

(Baumgarten e Pozza, 2001). Em dezembro de 2009, os valores de dureza no sistema monitorado variaram entre 24 mg/L e 82 mg/L (ponto 22 - rio Bonito) (Figura 15). De maneira geral, a água do reservatório da UHE Cana Brava pode ser classificada como mole.

Os maiores valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade e dureza, provavelmente, indica a elevada concentração de íons nesse ambiente, principalmente, íons carbonato e bicarbonato.

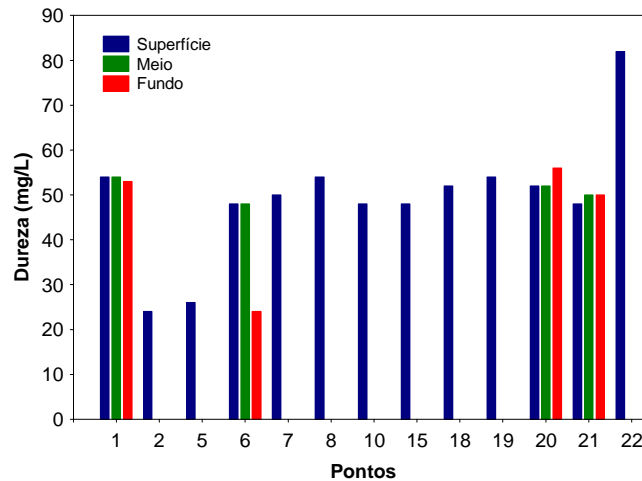


Figura 15. Valores de dureza.

### ***Íons cloreto, sulfato, sulfeto e ferro***

Todas as águas naturais, em maior ou menor escala contêm íons cloreto resultantes da dissolução de minerais ou de sais e da intrusão de águas salinas no continente. Altas concentrações de cloreto 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 2009, as concentrações de cloreto foram inferiores a 0,5 mg/L na maior parte dos pontos e profundidades de coleta (Figura 16). A maior concentração (2,0 mg/L) foi registrado no ponto 18 (praia de Minaçu – parte interna) (Figura 16). De maneira geral, concentrações extremamente baixas de cloreto são freqüentes no reservatório da UHE Cana Brava (Figura 17). Em 2009, as maiores concentrações foram detectadas nos pontos 18 e 15 (jusante da barragem).

Assim, todos os locais amostrados apresentaram concentrações inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (250 mg/L), assim como observado nos demais meses de monitoramento.

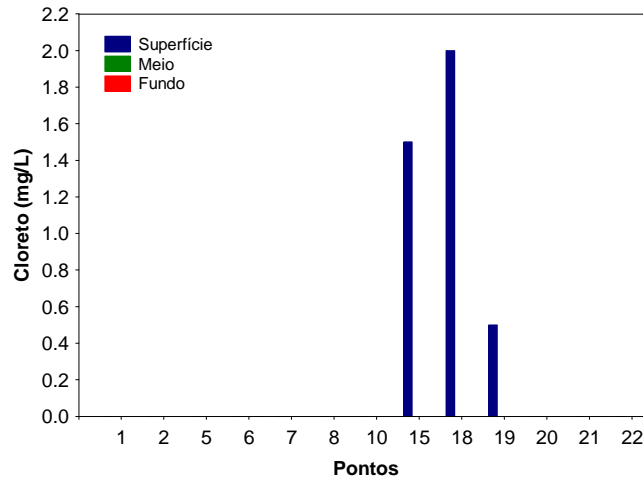
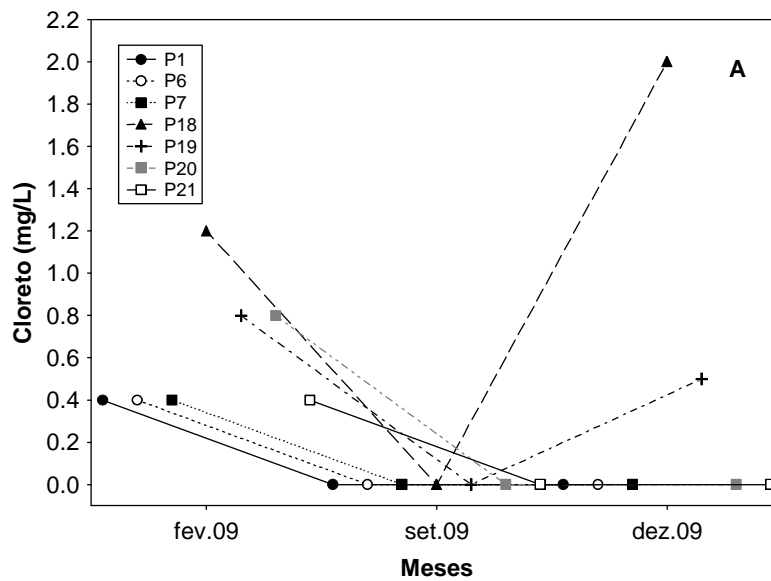


Figura 16. Concentração de cloreto.



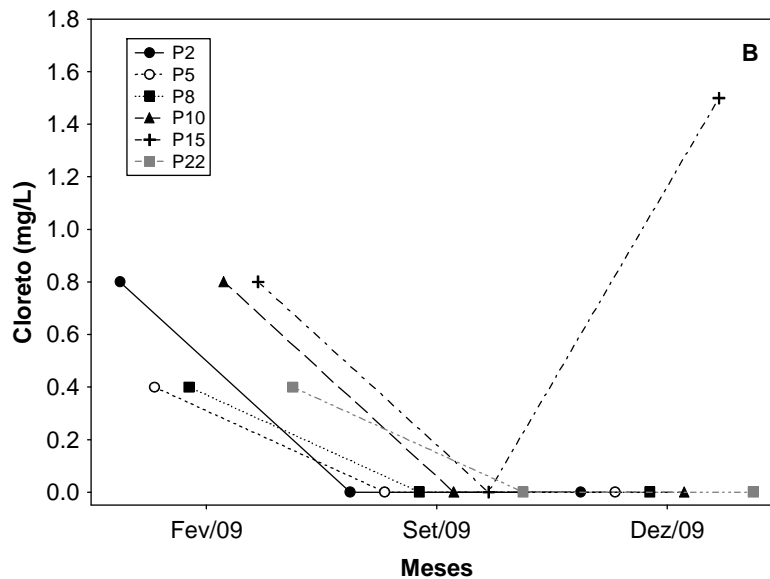


Figura 17. Concentrações de cloreto mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

O enxofre em ecossistemas aquáticos pode apresentar-se sob várias formas: como íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), íon sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), íon sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), entre outros. Dentre as várias formas de enxofre presentes na água, o íon sulfato e o gás sulfídrico são as mais freqüentes, sendo que o íon sulfato assume maior importância na produtividade do ecossistema, visto que constitui a principal fonte de enxofre para os produtores primários (Esteves, 1998). Em ecossistemas de águas interiores sujeitos à contaminação antropogênica, podem ser encontrados valores altos para a concentração de sulfato.

Em dezembro de 2009, as concentrações de sulfato foram inferiores a 1,0 mg/L na maior parte dos pontos monitorados (Figura 18). A maior concentração (8,0 mg/L) foi mensurada no ponto 22 (rio Bonito). Assim, todos os locais e profundidades de coleta apresentaram valores inferiores ao limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (250 mg/l). Entre fevereiro e dezembro de 2009 os pontos localizados no corpo central do reservatório apresentaram concentrações inferiores a 1,0 mg/L (inferiores ao limite de detecção do método), enquanto que, dentre os tributários, as maiores concentrações foram detectadas no ponto 22 (rio Bonito), em fevereiro e dezembro de 2009 (Figura 19).

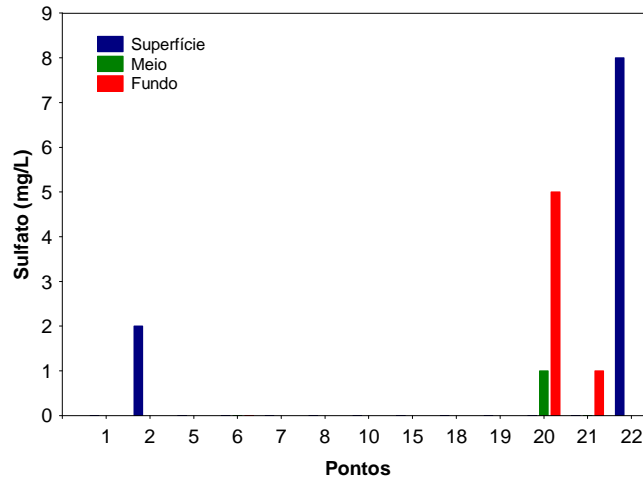


Figura 18. Concentração de sulfato.

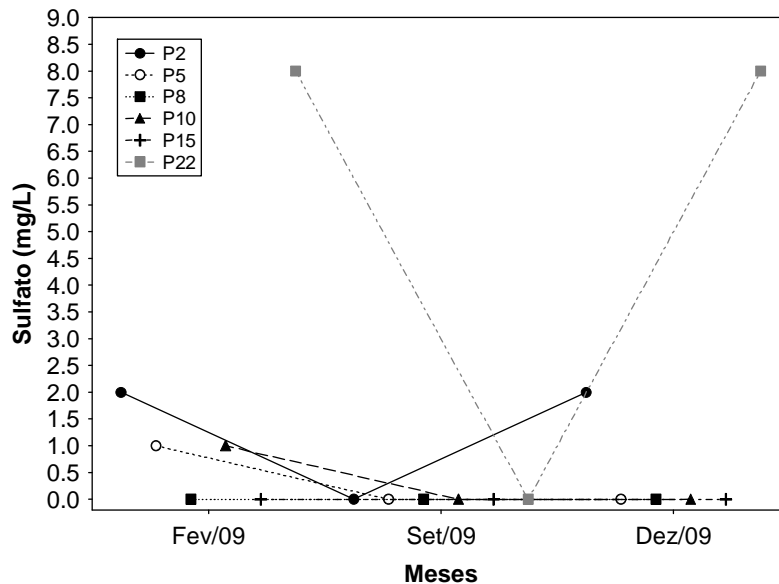


Figura 19. Concentrações de sulfato mensuradas nos tributários, no ano de 2009.

As concentrações de sulfato variaram entre 0,001 mg/L e 0,056 mg/l (ponto 2 – rio Preto) (Figura 20). Em dezembro de 2009, os pontos 1, 2, 5, 6, 19 e 22 apresentaram concentração de sulfato superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA (0,002 mg/L).

Considerando a variabilidade espacial, entre fevereiro e dezembro de 2009, as maiores concentrações de sulfato foram obtidas nos tributários do reservatório, enquanto que no corpo central frequentemente são mensuradas concentrações iguais ou inferiores a 0,002 mg/L (Figura 21).

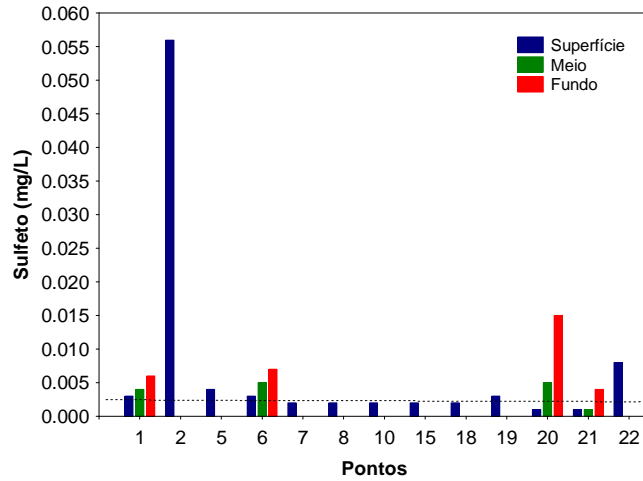


Figura 20. Concentração de sulfeto.

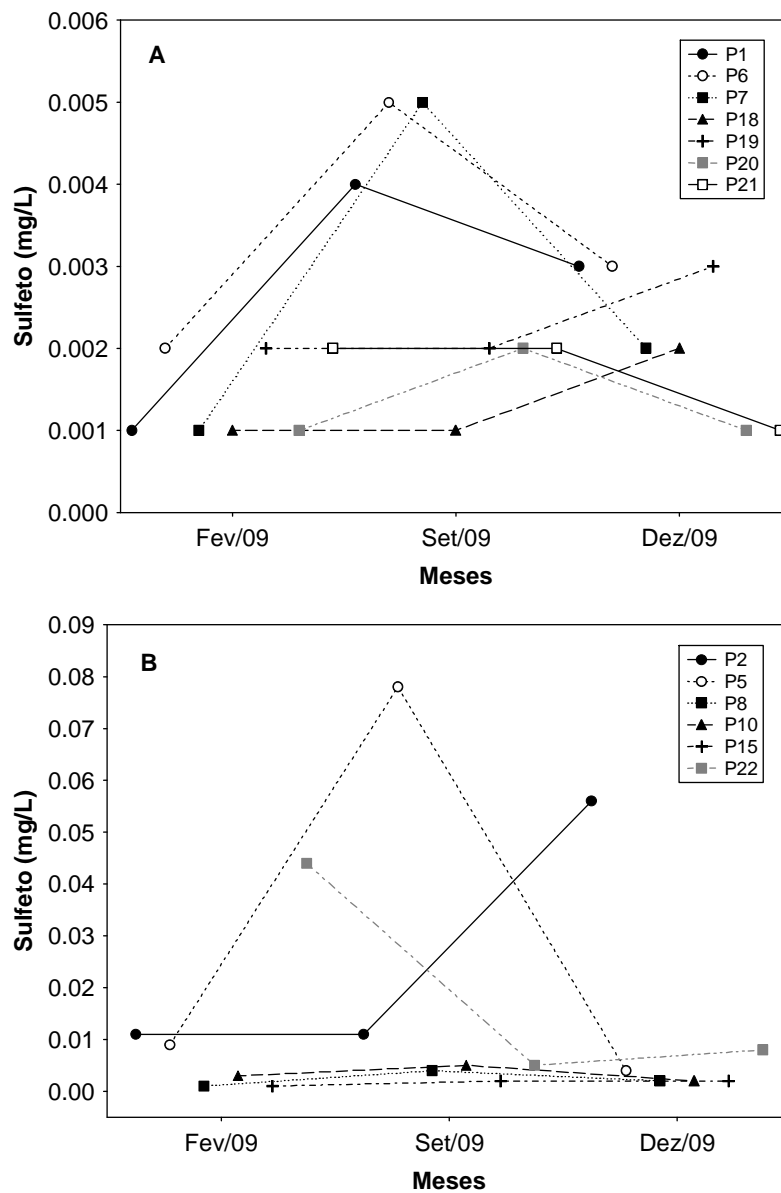


Figura 21. Concentrações de sulfeto mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.



A concentração média de ferro total nas águas do reservatório foi igual a 0,32 mg/L; 0,265 mg/L e 1,11 mg/L na superfície, meio e fundo, respectivamente (Figura 22). O maior valor (2,38 mg/L) foi obtido no fundo do ponto 20 (meio do reservatório) (Figura 22). As maiores concentrações de ferro mensuradas nas maiores profundidades são esperadas, tendo em vista que em ambientes onde predominam condições redox (baixas concentrações de oxigênio), grande parte dos íons de ferro encontra-se na forma reduzida ( $Fe^{2+}$ ), tornando-se solúvel no ambiente aquático. De maneira geral, tais valores foram superiores àqueles registrados em setembro de 2009. Além disso, ao longo do ano, as maiores concentrações de ferro foram detectadas em fevereiro, nos tributários do reservatório, principalmente nos pontos 5, 2 e 22 (Figura 23).

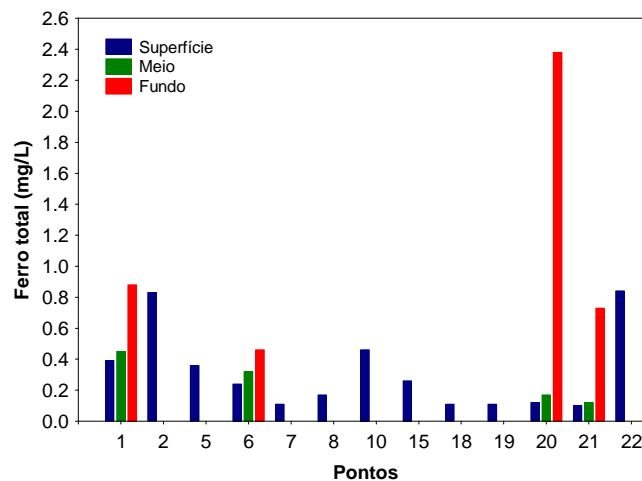
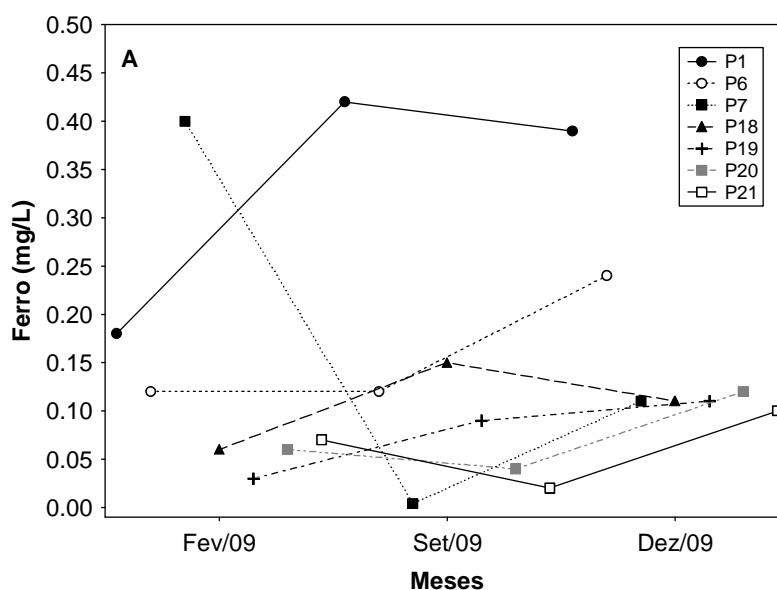


Figura 22. Concentração de ferro total.



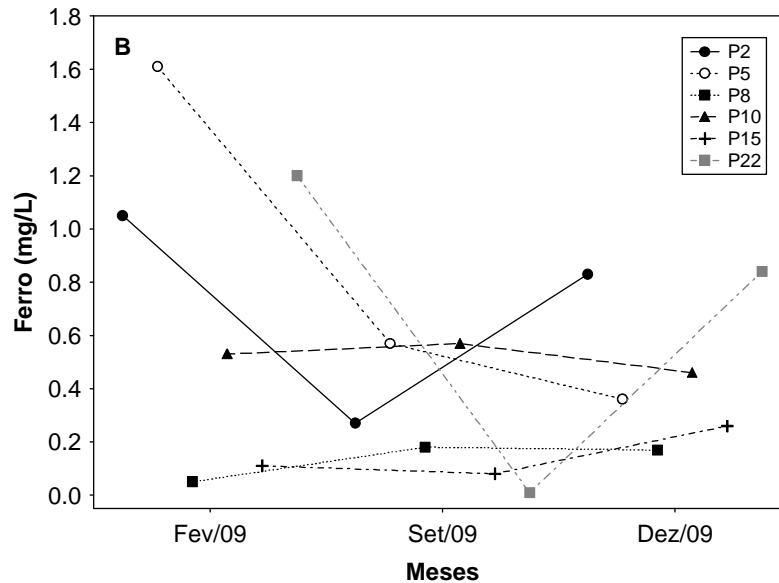


Figura 23. Concentrações de ferro total mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

### Nutrientes

O fósforo é um importante nutriente para os produtores primários, e, juntamente com o nitrogênio, é o principal nutriente responsável pelo processo de eutrofização dos ecossistemas aquáticos (Kalff, 2002; Baumgarten e Pozza, 2001). Em dezembro de 2009, as concentrações de orto-fosfato foram, em média, iguais a 0,0048 mg/L na superfície, 0,0016 mg/L no meio e 0,0049 mg/L no fundo dos pontos amostrados. A maior concentração (0,041 mg/L) foi obtida no ponto 2 (rio Preto) (Figura 24). Em média, as maiores concentrações de orto-fosfato foram detectadas nos tributários do reservatório (Figura 25).

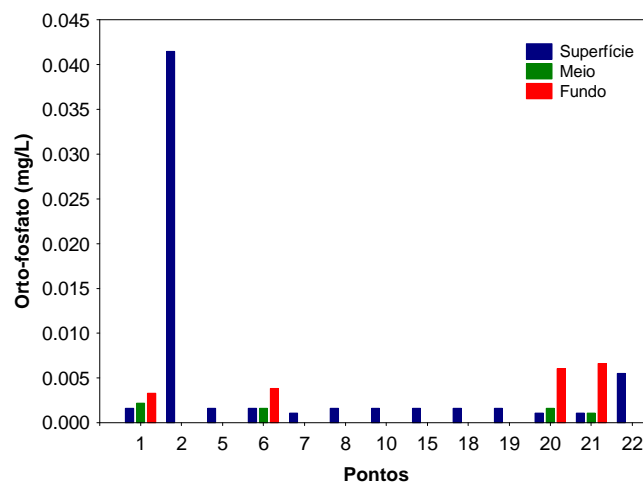


Figura 24. Concentração de orto-fosfato.

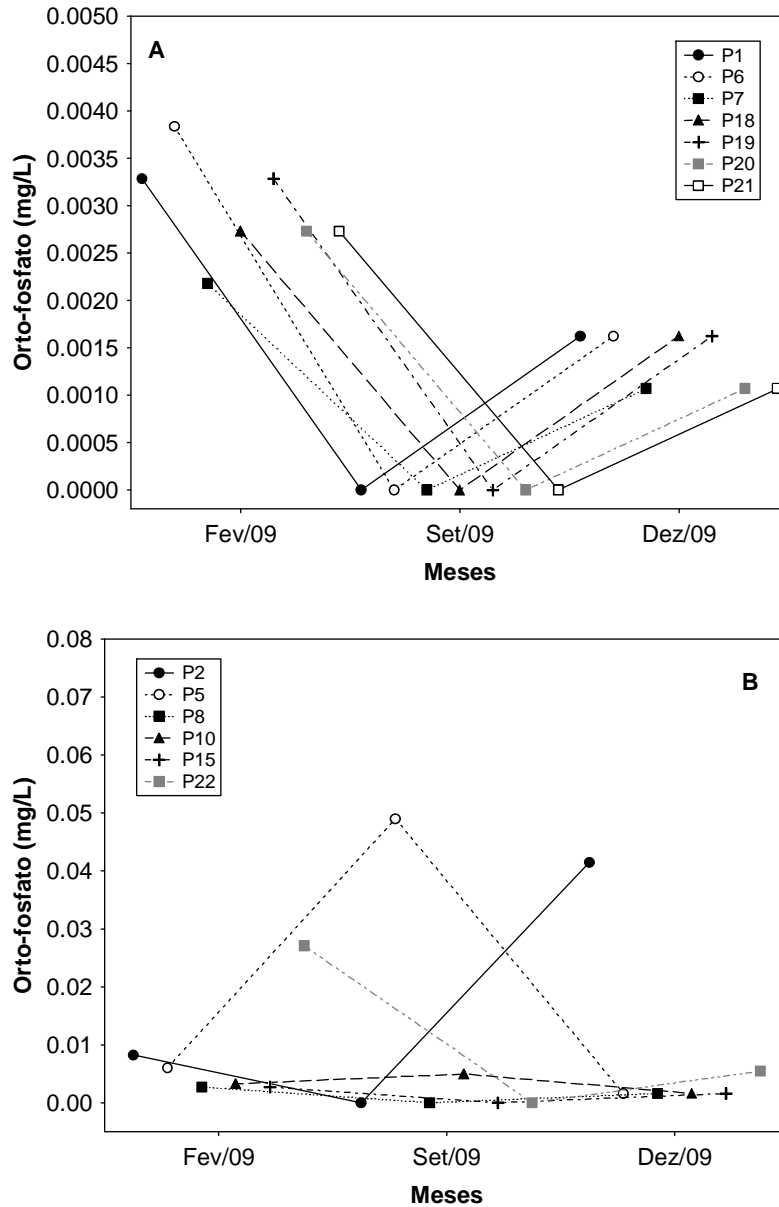


Figura 25. Concentrações de orto-fosfato mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

As concentrações de fósforo total variaram entre 0,0016 mg/L e 0,059 mg/L (ponto 2) (Figura 26). Nesse mês, somente a superfície do ponto 2 apresentou concentração de fósforo total superior ao limite preconizado pela resolução CONAMA nº 357/2005 (0,05 mg/L; em ambientes intermediários). Houve um acréscimo nas concentrações de fósforo total em dezembro de 2009, comparando com setembro (Figura 27). Além disso, assim como observado para as concentrações de orto-fosfato, ferro total e de outros íons,

as maiores concentrações de fósforo total foram mensuradas no tributários do reservatório (Figura 27).

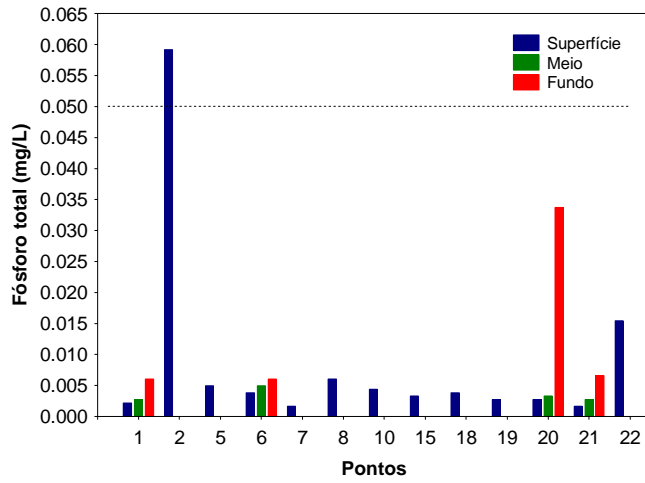
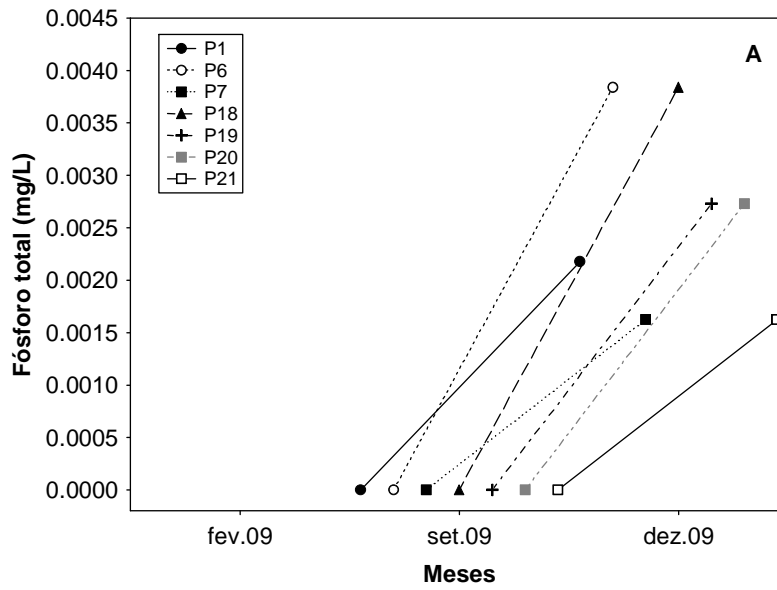


Figura 26. Concentração de fósforo total.



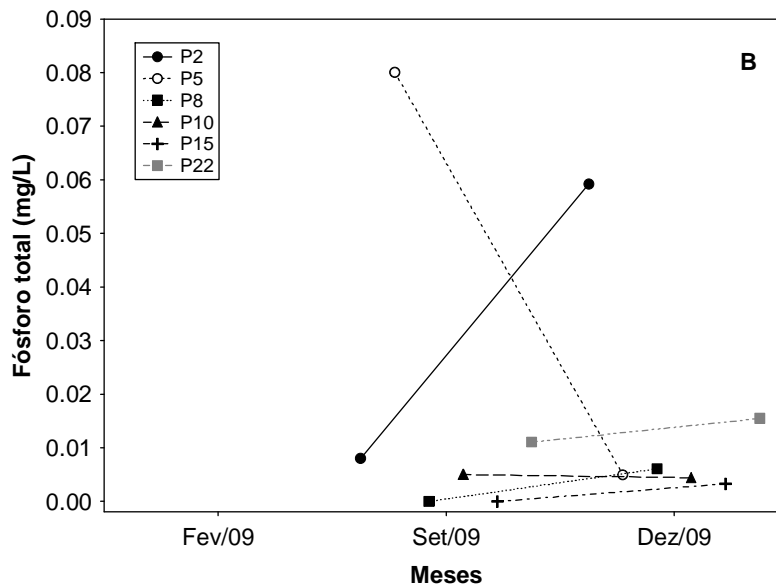


Figura 27. Concentrações de fósforo total mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

Juntamente com o fosfato, o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Dentre as diferentes formas, o nitrato, juntamente com o íon amônio, assumem grande importância nos ecossistemas aquáticos, uma vez que representam as principais fontes de nitrogênio para os produtos primários. O nitrito é encontrado em baixas concentrações notadamente em ambientes oxigenados.

Em dezembro de 2009, a maior parte dos pontos de coleta apresentaram concentrações de nitrato inferiores ao limite de detecção do método (<0,1 mg/L). A maior concentração (0,7 mg/L) foi obtida no ponto 2 (rio Preto) (Figura 28). De maneira geral, ao longo de todo o período de monitoramento, todos os locais amostrados apresentaram concentrações de nitrato inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA para águas de classe 2 (10 mg/L).

Considerando a variabilidade temporal, as maiores concentrações de nitrato foram detectadas em fevereiro de 2009 (Figura 29). Além disso, em 2009, os tributários freqüentemente apresentam os maiores valores (média igual a 0,061 mg/L no corpo central do reservatório e 0,33 mg/L nos tributários), principalmente no ponto 22 (rio Bonito) (Figura 29B).

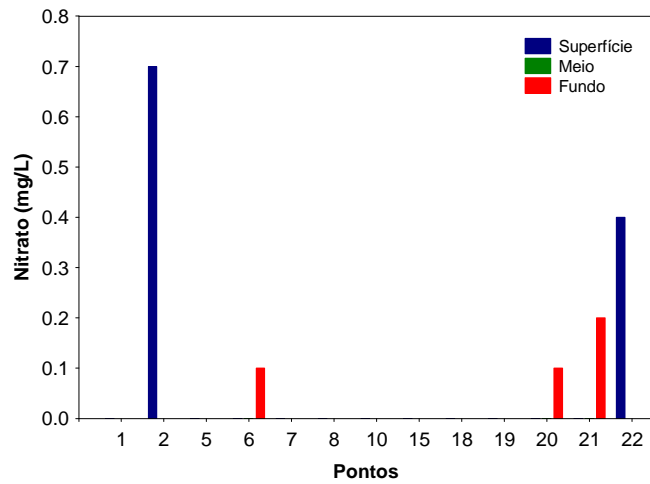


Figura 28. Concentração de nitrato.

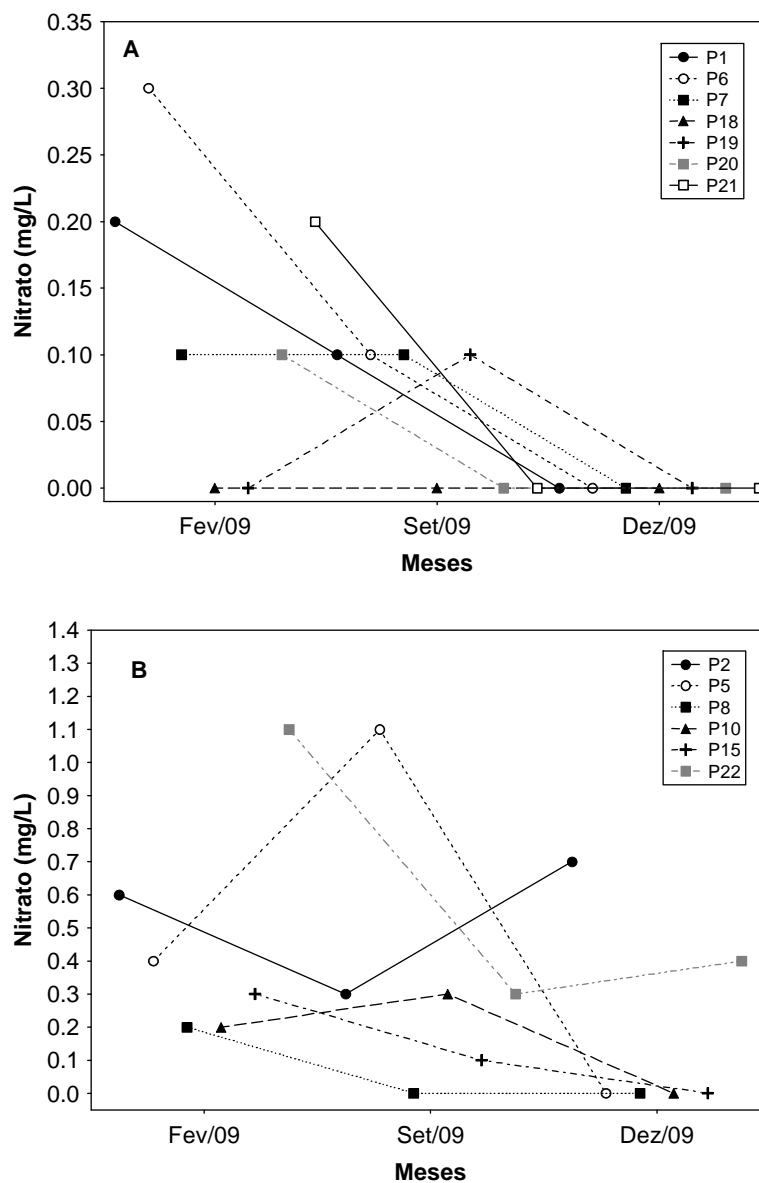


Figura 29. Concentrações de nitrato mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

As concentrações de nitrito variaram entre 0,002 mg/L e 0,009 mg/L (ponto 2 – rio Preto) (Figura 30). Todos os locais e profundidades amostradas apresentaram concentrações de nitrito inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA (1,0 mg/L).

Assim como observado para os demais parâmetros limnológicos, as maiores concentrações de nitrito foram mensuradas nos tributários do reservatório (Figura 31). Além disso, em 2009, elevadas concentrações de nitrito foram detectadas em setembro de 2009, principalmente nos pontos 6, 7 e 10 (Figura 31). No entanto, mesmo considerando essas maiores concentrações, estas foram significativamente inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA.

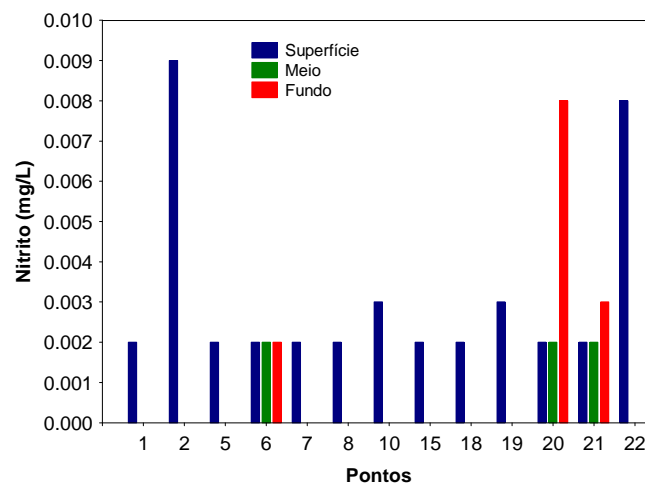
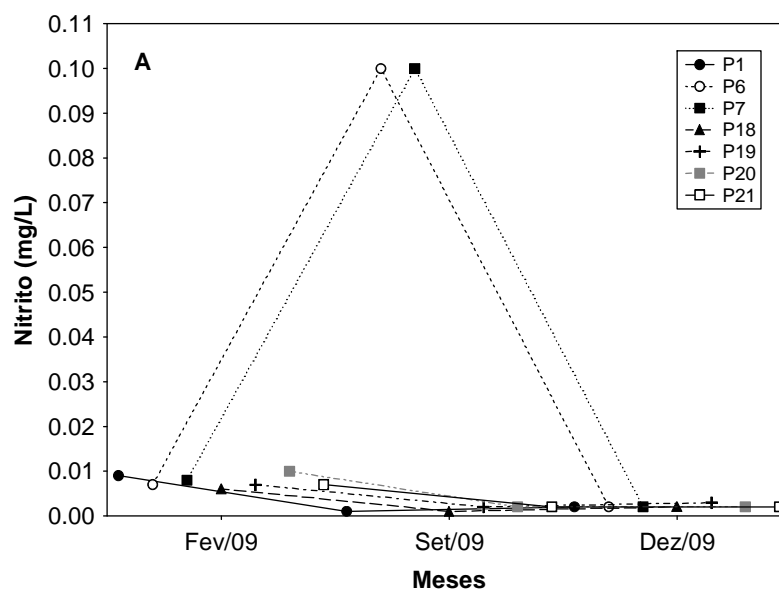


Figura 30. Concentração de nitrito.



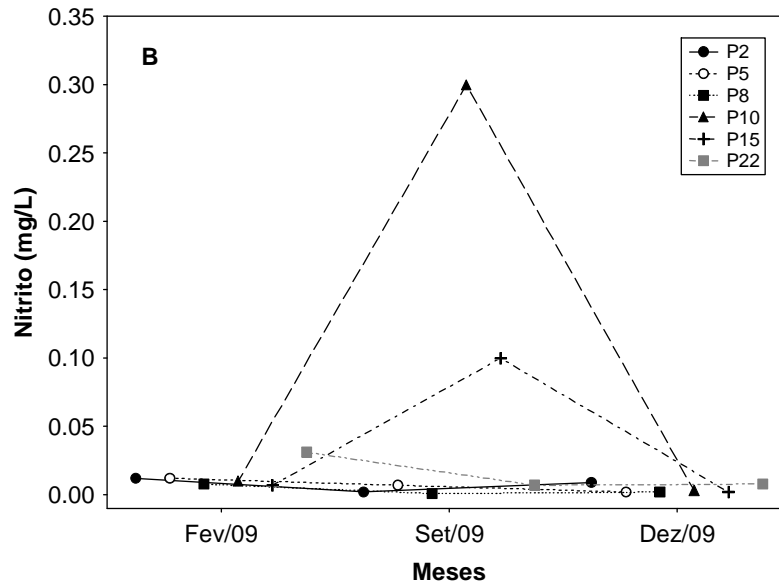


Figura 31. Concentrações de nitrito mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

As concentrações de nitrogênio amoniacal variaram entre 0,05 mg/L e 0,56 mg/L (ponto 2 – rio Preto) (Figura 32). De acordo com os valores de pH nas águas monitoradas, pode-se afirmar que as concentrações de nitrogênio amoniacal foram inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA (3,7 mg/l para  $\text{pH} \leq 7,5$ ; 2,0 mg/l para  $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ ; e 1,0 mg/L para  $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ ). Considerando a variabilidade temporal, as maiores concentrações de nitrogênio amoniacal foram detectadas em fevereiro e dezembro de 2009 (período de chuvas) (Figura 33).

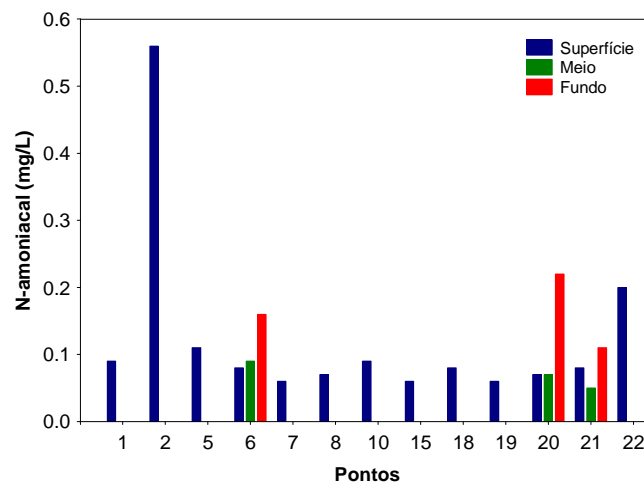


Figura 32. Concentração de nitrogênio amoniacal.



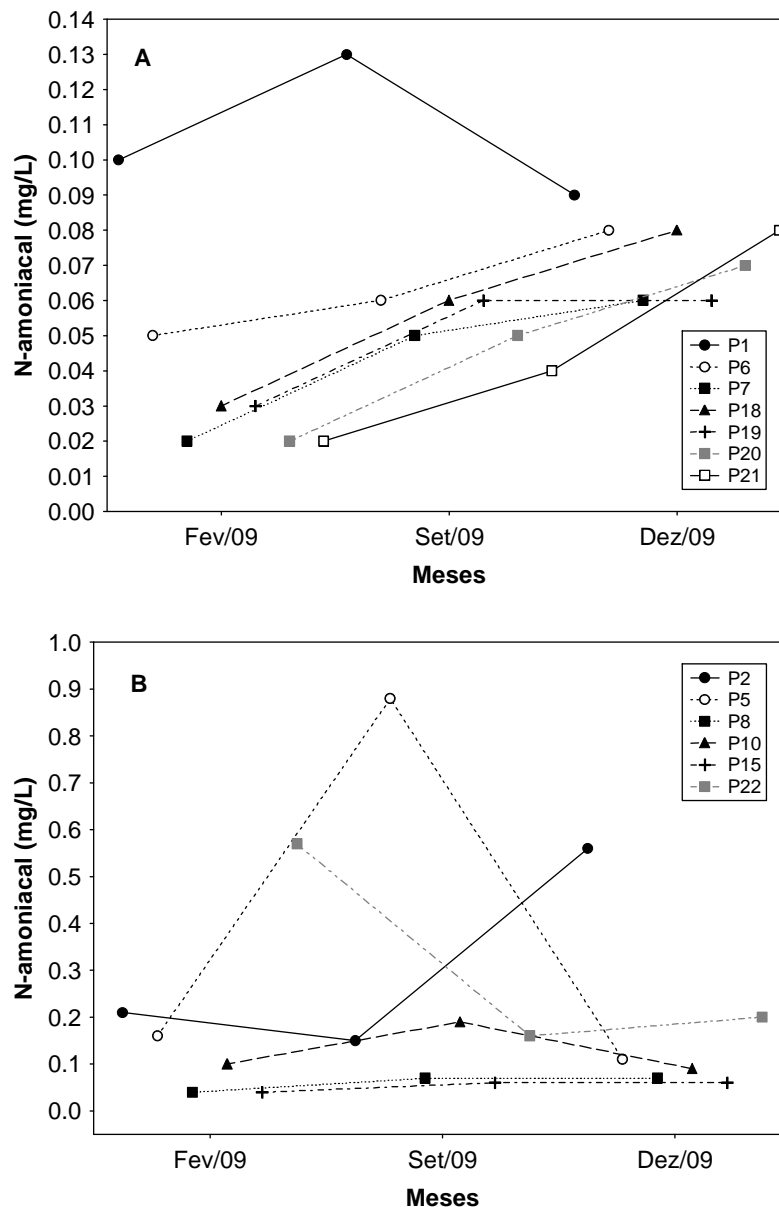


Figura 33. Concentrações de nitrogênio amoniacal mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

A demanda bioquímica de oxigênio avalia a quantidade de oxigênio dissolvido consumido pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. Em dezembro de 2009, os valores de  $DBO_5$  variaram entre 0,2 mg/L e 2,5 mg/L (ponto 15 – jusante da barragem) (Figura 34). Tais valores foram inferiores ao limite preconizado pela Resolução nº 357 de março de 2005 (5,0 mg/L), assim como observado em fevereiro e setembro de 2009. De maneira geral, em 2009, foram mensurados baixos valores de  $DBO_5$  tanto no corpo central do reservatório quanto nos tributários (Figura 35).

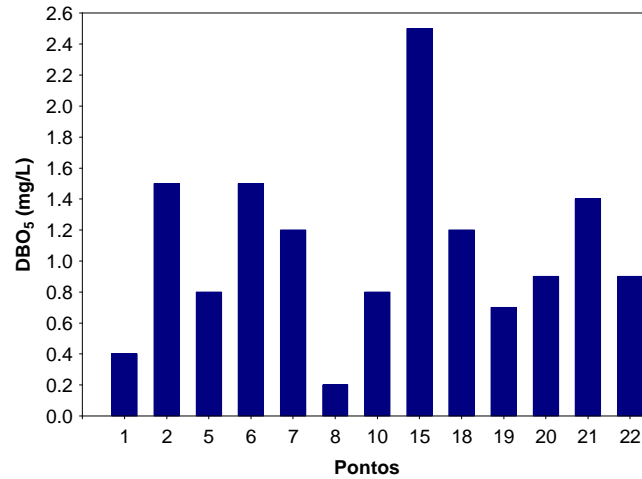


Figura 34. Valores de DBO<sub>5</sub>.

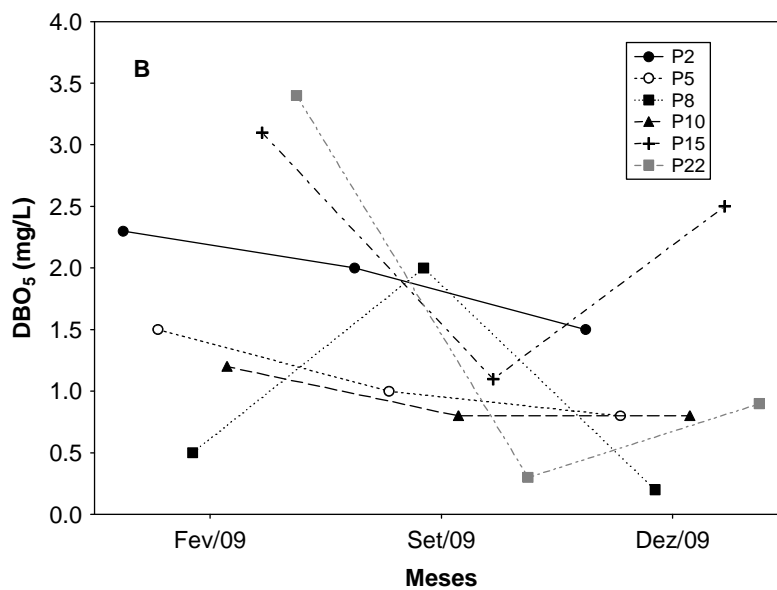
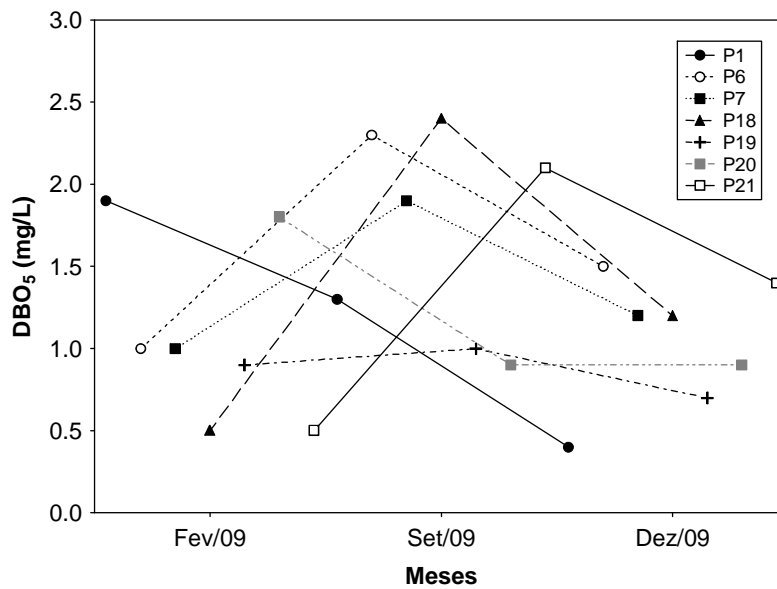


Figura 35. Concentrações de DBO<sub>5</sub> mensuradas na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

### 3.2. Parâmetros Bacteriológicos

Em dezembro de 2009, a densidade de coliformes totais no reservatório da UHE Cana Brava variou entre ausência e valores superiores a 16000 NMP/100ml (pontos 2 e 22) (Figura 36). Entre fevereiro e dezembro de 2009, os maiores valores de densidade de coliformes totais foram detectados no ponto 22 (rio Bonito), seguido pelo ponto 2 (rio Preto) (Figura 37).

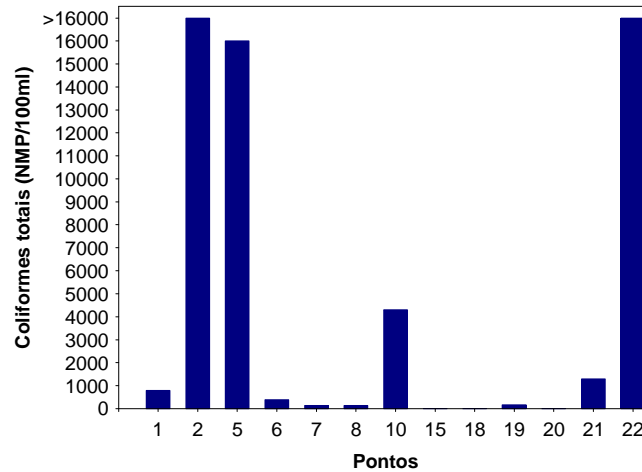
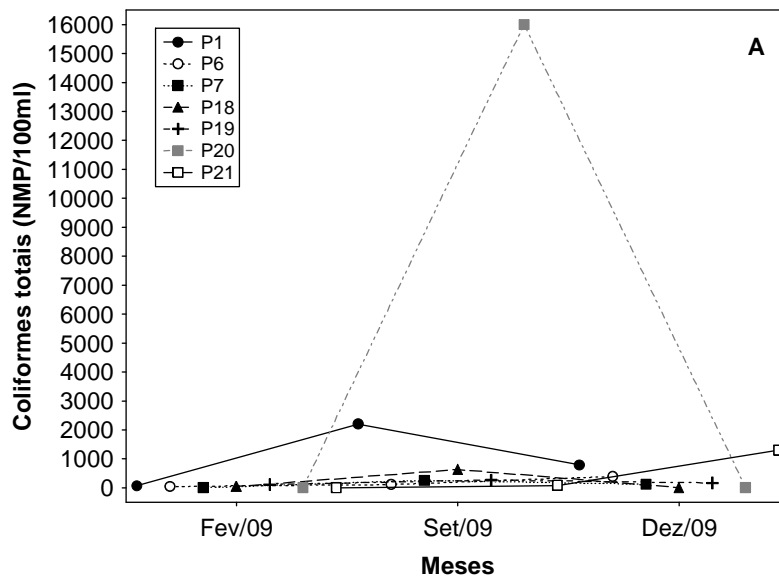


Figura 36. Densidade de coliformes totais.



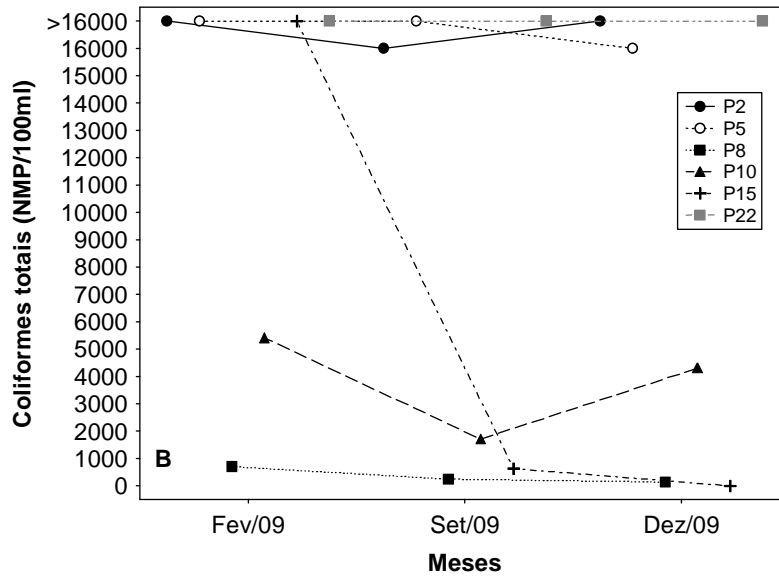


Figura 37. Valores de densidade de coliformes totais mensurados na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

A densidade de coliformes fecais (termotolerantes) variou entre valores ausentes e valor superior a 16000 NMP/100ml (ponto 22 – rio Bonito) (Figura 38). De acordo com a resolução CONAMA, para águas de classe 2, no mês de dezembro, somente o ponto 22 apresentou densidade de coliformes fecais (termotolerantes) acima do limite permitido (1000 NMP/100ml). De fato, entre fevereiro e dezembro de 2009, o rio Bonito (ponto 22) apresentou elevadas densidades de coliformes fecais (superiores ao limite preconizado pela resolução CONAMA) (Figura 39). Além disso, os tributários do reservatório apresentaram as maiores densidades de coliformes totais e fecais.

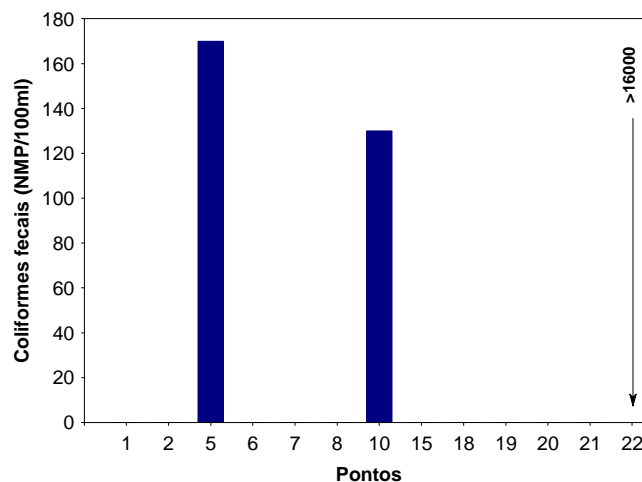


Figura 38. Densidade de coliformes fecais (termotolerantes).

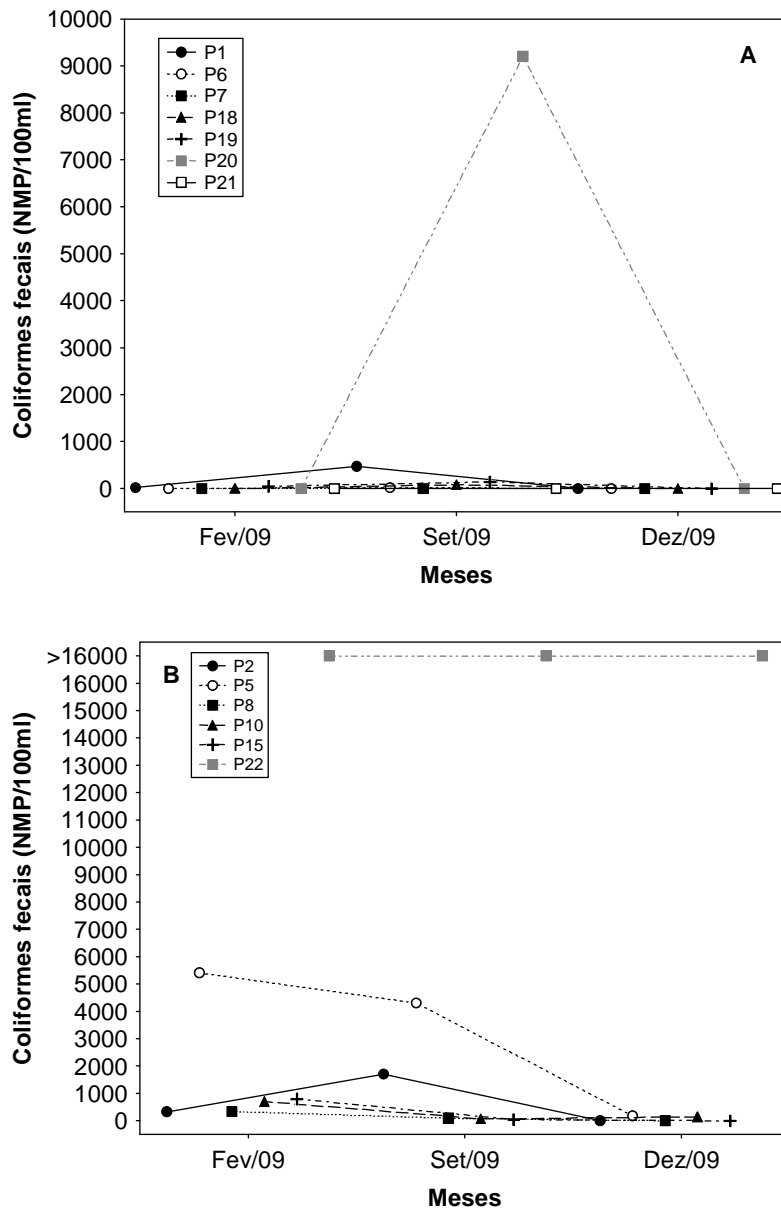


Figura 39. Valores de densidade de coliformes fecais (termotolerantes) mensurados na superfície do corpo central do reservatório (A) e nos tributários (B), no ano de 2009.

### 3.3. vertical dos pontos 20 e 21

O perfil vertical dos pontos 20 e 21 têm como objetivo verificar a existência de estratificação térmica. Foi obtida a temperatura da água e saturação de oxigênio (quantidade máxima de oxigênio que pode ser dissolvida na água em determinada pressão e temperatura), até a profundidade de 17 e 19 metros, respectivamente (Figura 33).

Em dezembro de 2009, a camada superficial e de fundo apresentaram diferenças de temperatura de aproximadamente  $2,8^{\circ}\text{C}$  em ambos os pontos de coleta (Figura 40A). Tal diferença foi similar àquela registrada em fevereiro de 2009 ( $3,2^{\circ}\text{C}$ ) e inferior ao obtido em setembro de 2009 ( $5,0^{\circ}\text{C}$  no ponto 20 e  $4,5^{\circ}\text{C}$  no ponto 21). Assim, nesse mês não foi verificada a existência de estratificação térmica no reservatório da UHE Cana Brava. A saturação de oxigênio dissolvido apresentou uma diferença de, aproximadamente,  $64,2\%$  no ponto 20 e  $74,1\%$  no ponto 21 (Figura 40B). A partir de 10 metros de profundidade o ambiente passou a apresentar baixas concentrações desse gás. Baixas concentrações de oxigênio nas maiores profundidades do reservatório também foram obtidas em fevereiro e setembro de 2009.

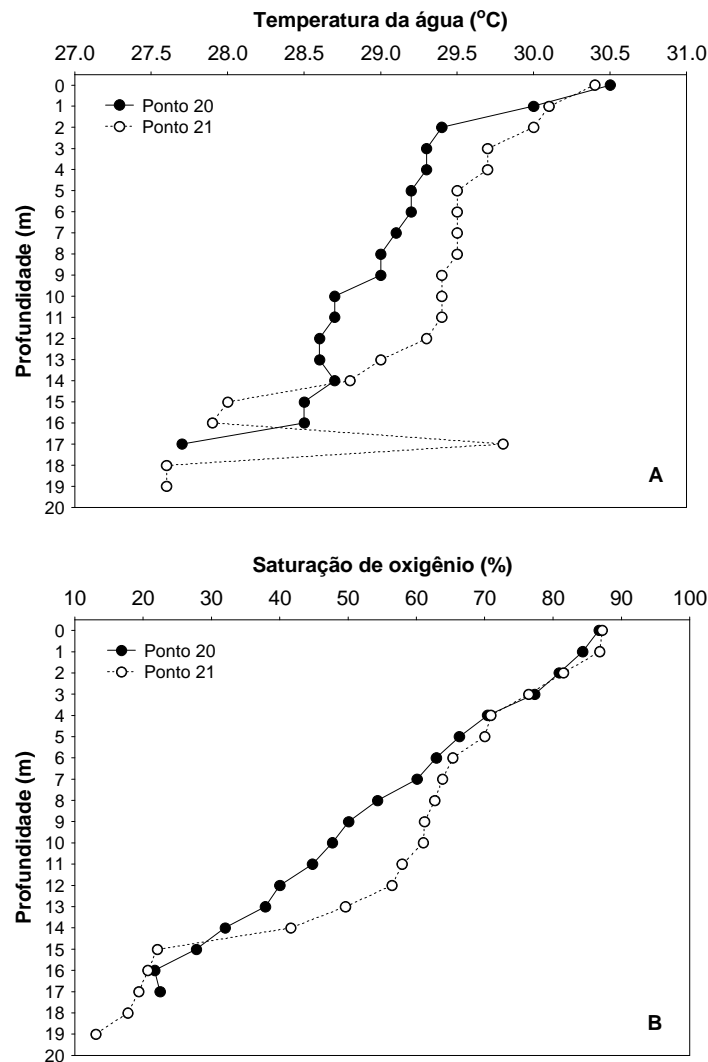


Figura 40. Gradiente vertical de temperatura (A), e porcentagem de saturação de oxigênio (B), nos pontos 20 e 21, em dezembro de 2009.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pressupondo que as águas do sistema monitorado são enquadradas na Classe 2 da Resolução nº 357 de março de 2005 do CONAMA, grande parte do trecho monitorado, em dezembro de 2009, no reservatório da UHE Cana Brava, apresentou resultados compatíveis com os limites preconizados pela referida resolução. As seguintes transgressões foram observadas:

- Concentração de oxigênio dissolvido inferior a 5,0 mg/L no meio e fundo do ponto 1 (foz do córrego Florêncio); e fundo dos pontos 20 e 21;
- Concentração de sulfeto superior a 0,002 mg/L na superfície dos pontos 1, 2, 5, 6, 19 e 22; meio e fundo dos pontos 1, 6 e 20 e fundo do ponto 21;
- Concentração de fósforo total superior a 0,05 mg/L no ponto 2 (rio Preto);
- Densidade de coliformes fecais (termotolerantes) superior a 1000 NMP/100ml no ponto 22 (rio Bonito).

Em dezembro de 2009, o ponto 2 (rio Preto) apresentou os maiores valores de turbidez, ferro total, sulfeto, fósforo total e nutrientes nitrogenados, enquanto que o ponto 22 (rio Bonito) apresentou os maiores valores de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, dureza e coliformes fecais (termotolerantes). Tal resultado indica a elevada concentração de íons no rio Bonito, principalmente, íons carbonato e bicarbonato. Além disso, entre fevereiro e dezembro de 2009 foi possível observar que os maiores valores de turbidez, íons e nutrientes são freqüentemente mensurados nos tributários do reservatório, principalmente durante o período de chuvas (fevereiro e dezembro), no entanto, tais tributários não estão afetando negativamente as características limnológicas da água no corpo central do reservatório.

## 5. BIBLIOGRAFIA

American Public Health Association (APHA) (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association Publications, Washington DC.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 357*, de março de 2005, Brasília, SEMA, 2005.

Esteves, F.A. (1998) *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência.

Wetzel, R. G., Linkens, G.E. (2000) *Limnological analyses*. New York: Springer-Verlag.



## **ANEXO I**

### **RESULTADOS DA CAMPANHA DE DEZEMBRO DE 2009**

Resultados referentes à campanha de dezembro de 2009, na UHE Cana Brava.

Variáveis / Pontos	Prof	1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22
Temperatura ambiente (°C)		27	27	27,5	32	33	33	27,8	32	33	33	33	33	29
Temperatura da água (°C)	S	27,7	26,6	26,7	31,2	30,8	32,2	27,2	30,1	31,6	31,9	30,5	30,4	28,9
	M	27,1			29,5							29,1	29,4	
	F	25,7			27,7							28,5	27,6	
Transparência da água (m)		2,0	0,6	0,7	2,1	2,4	2,9	-	-	3,0	1,9	2,5	1,9	-
Turbidez (NTU)	S	1,65	64,2	2,5	2,72	1,29	1,28	1,3	3,67	2,71	1,53	1,8	1,64	14,4
	M	1,82			4,81							2,33	1,42	
	F	4,1			6,28							40,4	9,77	
Oxigênio dissolvido (mg/L)	S	5,5	7,8	7,8	8,4	9,6	8,6	8,1	5,5	9	9,4	7,8	8,5	10,3
	M	4,8			7,6							6,5	7,3	
	F	4,1			5,1							4,8	4,6	
pH	S	7,8	6,7	7,9	7,9	8,11	8,11	7,62	7,2	8,33	8,26	7,6	8,04	8,4
	S	92	23	36	82	85	95	89	85	95	92	91	83	153
Condutividade elétrica (µS/cm)	M	92,1			83,2							91,4	84,5	
	F	92,8			84,8							90,5		
	S	46	11	17	41	41	47	45	43	47	46	41	42	77
STD (mg/L)	M	39,4			31,4							35,1	31,9	
	F	38,9			31,9							34,5	29,9	
	S	44	13	17	38	39	44	40	38	43	42	43	40	66
Alcalinidade (mg/L)	M	43			38							42	39	
	F	42			40							42	38	
	S	54	24	26	48	50	54	48	48	52	54	52	48	82
Dureza total (mg/L)	M	54			48							52	50	
	F	53			24							56	50	
	S	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,5	2,0	0,5	<0,5	<0,5
Cloretos (mg/L)	M	<0,5			<0,5							<0,5	<0,5	
	F	<0,5			<0,5							<0,5	<0,5	
	S	<1,0	2,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	8,0
Sulfato (mg/L)	M	<1,0			<1,0							1,0	<1,0	
	F	<1,0			<1,0							5,0	1,0	

Sulfeto (mg/L)	S	0,003	0,056	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,008
	M	0,004			0,005							0,005	0,001	
	F	0,006			0,007							0,015	0,004	
Ferro (mg/L)	S	0,39	0,83	0,36	0,24	0,11	0,17	0,46	0,26	0,11	0,11	0,12	0,1	0,84
	M	0,45			0,32							0,17	0,12	
	F	0,88			0,46							2,38	0,73	
Orto-fosfato (mg/L)	S	0,0016	0,0415	0,0016	0,0016	0,0011	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0011	0,0011	0,0055
	M	0,0022			0,0016							0,0016	0,0011	
	F	0,0033			0,0038							0,0061	0,0066	
Fósforo total (mg/L)	S	0,0022	0,0592	0,0049	0,0038	0,0016	0,0061	0,0044	0,0033	0,0038	0,0027	0,0027	0,0016	0,0155
	M	0,0027			0,0049							0,0033	0,0027	
	F	0,0061			0,0061							0,0337	0,0066	
Nitrato (mg/L)	S	<0,1	0,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4
	M	<0,1			<0,1							<0,1	<0,1	
	F	<0,1			0,1							0,1	0,2	
Nitrito (mg/L)	S	0,002	0,009	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,008
	M	0,002			0,002							0,002	0,002	
	F	0,004			0,002							0,008	0,003	
N-amoniaco (mg/L)	S	0,09	0,56	0,11	0,08	0,06	0,07	0,09	0,06	0,08	0,06	0,07	0,08	0,2
	M	0,1			0,09							0,07	0,05	
	F	0,14			0,16							0,22	0,11	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	S	0,4	1,5	0,8	1,5	1,2	0,2	0,8	2,5	1,2	0,7	0,9	1,4	0,9
Coliformes totais	S	790	>16000	16000	390	130	140	4300	Ausente	Ausente	170	Ausente	1300	>16000
Coliformes fecais	S	Ausente	Ausente	170	Ausente	Ausente	Ausente	130	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	>16000