

## ÍNDICE

|  |              |
|--|--------------|
| <b>5 - Resultados</b> .....  | <b>1/104</b> |
| <b>5.1 - Abióticos</b> .....   | <b>1/104</b> |
| 5.1.1 - Físicas A e B .....  | 3/104        |
| 5.1.1.1 - Temperatura do ar e da água .....  | 3/104        |
| 5.1.1.2 - Profundidade, zona eufótica, cor e velocidade de corrente .....  | 8/104        |
| 5.1.2 - Físicas C .....  | 12/104       |
| 5.1.2.1 - Turbidez .....   | 12/104       |
| 5.1.2.2 - Sólidos .....  | 16/104       |
| 5.1.2.3 - Condutividade elétrica .....   | 20/104       |
| 5.1.2.4 - Potencial hidrogeniônico (pH) .....  | 24/104       |
| 5.1.3 - Químicas I-A .....   | 28/104       |
| 5.1.3.1 - Oxigênio dissolvido .....  | 28/104       |
| 5.1.3.2 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) .....   | 33/104       |
| 5.1.3.3 - Demanda química de oxigênio (DQO) .....  | 34/104       |
| 5.1.3.4 - Carbono .....  | 35/104       |
| 5.1.4 - Química II .....   | 40/104       |
| 5.1.4.1 - Alcalinidade .....   | 40/104       |
| 5.1.5 - Químicas III .....   | 41/104       |
| 5.1.5.1 - Íons principais ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) ..... | 41/104       |
| 5.1.6 - Químicas IV .....  | 49/104       |
| 5.1.6.1 - Nitrogênio .....   | 49/104       |
| 5.1.6.2 - Fósforo .....  | 54/104       |
| 5.1.6.3 - Silicatos reativos .....   | 59/104       |
| 5.1.7 - Químicas V .....   | 61/104       |
| 5.1.7.1 - Ferro .....  | 61/104       |
| 5.1.8 - Químicas VI .....  | 63/104       |

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -  
Relatório 9 / Consolidado das fases de instalação e operação

|           |  |        |
|-----------|--|--------|
| 5.1.8.1 - | Elementos-traço.....   | 63/104 |
| 5.1.9 -   | Biológicas.....  | 77/104 |
| 5.1.9.1 - | Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....                        | 77/104 |
| 5.1.9.2 - | Clorofila <i>a</i> e pigmentos totais.....                               | 80/104 |
| 5.1.9.3 - | Pontos de captação de água para abastecimento público: PCM e<br>PCT..... | 82/104 |
| 5.1.9.4 - | Índice de estado trófico (IET).....                                      | 83/104 |
| 5.1.9.5 - | Índice de qualidade da água (IQA).....                                   | 83/104 |
| 5.1.9.6 - | Ordenação espacial das variáveis limnológicas.....                       | 85/104 |
| 5.1.9.7 - | Comparação das diferentes fases do empreendimento.....                   | 87/104 |

ANEXOS

Anexo 5a Laudos Abióticos - Digital

Anexo 5b Laudos Bióticos - Digital

## 5 - RESULTADOS

Os resultados de todos os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados foram apresentados na forma de gráficos, textos, tabelas e laudos (**Anexo 5a - Laudos Abióticos e Anexo 5b - Laudos Biológicos**).

### 5.1 - ABIÓTICOS

O rio Madeira apresenta períodos hidrológicos muito bem definidos durante o ano. A sazonalidade determinada pelo regime hídrico monomodal possibilita o estabelecimento criterioso das datas dos trabalhos de campo trimestrais, em função das variações no nível do rio, em quatro períodos hidrológicos distintos: vazante, águas baixas, enchente e águas altas. O relatório atual apresenta os resultados registrados ao longo do segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014), para em seguida fazer uma análise comparada das fases de pré e pós-enchimento do reservatório (junho de 2009 e outubro de 2014). A variação do nível da água ao longo do tempo e o período em que foram realizadas as campanhas de campo do Monitoramento Limnológico são mostrados na **Figura 5-1**.

## UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -  
Relatório 9 / Consolidado das fases de instalação e operação

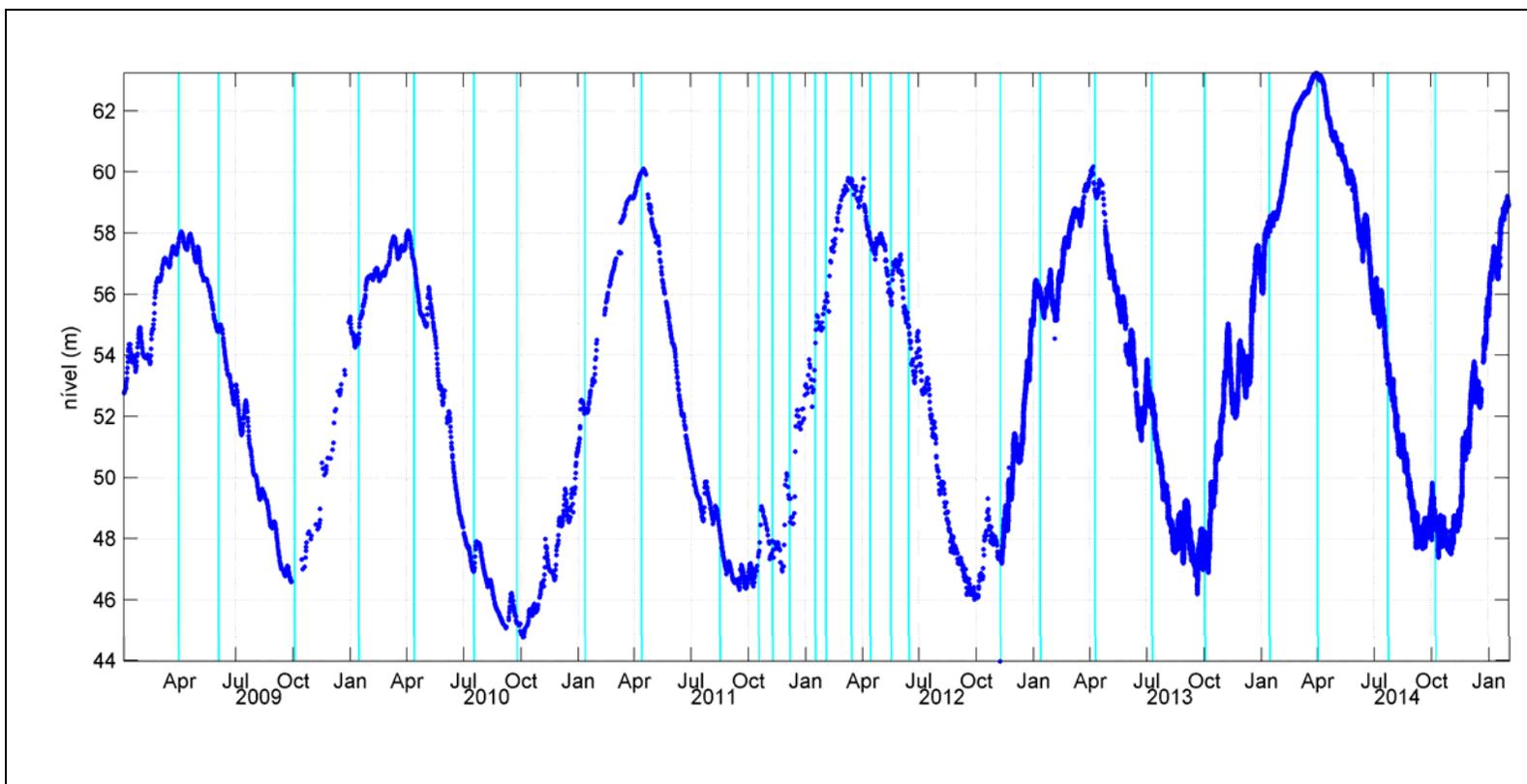


Figura 5-1 - Variação da cota no rio Madeira, medida na estação de Porto Velho-RO.  
As barras indicam as campanhas realizadas de junho de 2009 e outubro de 2014.

## 5.1.1 - Físicas A e B

### 5.1.1.1 - Temperatura do ar e da água

No rio Madeira, a temperatura da água variou entre  $30,9 \pm 0,7$  °C nas águas baixas de 2014 e  $25,6 \pm 0,2$  °C na vazante de 2014. Nos tributários, as temperaturas oscilaram entre  $29,8 \pm 1,7$  °C nas águas baixas de 2014 e  $27,25 \pm 1,2$  °C na enchente de 2014. No lago Cuniã, as temperaturas da superfície oscilaram entre 31,6 °C nas águas baixas 2014 e 29,6 °C na enchente de 2014 e as temperaturas do fundo variaram entre 28,84 °C nas águas baixas de 2014 e 25,10 °C na enchente do mesmo ano (Figura 5-2).

Já as temperaturas médias do ar na área de estudo variaram entre  $29,8 \pm 2,1$  °C na enchente de 2014 e  $27,1 \pm 0,9$  °C nas águas altas de 2014. Nos tributários, as temperaturas oscilaram entre  $29,6 \pm 2,2$  C° na enchente de 2014 e  $27,9 \pm 1,5$  C° nas águas altas de 2014. Já no lago Cuniã, as temperaturas do ar variaram entre 38,5 C° nas águas baixas de 2014 e 27,4 C° nas águas altas de 2014 (Figura 5-3).

No rio Madeira, os perfis verticais de temperatura indicaram a manutenção da uniformidade térmica, tanto a montante quanto a jusante da barragem, mesmo após o enchimento do reservatório (Figura 5-4). Em algumas situações, especialmente nas águas baixas dos anos de 2012 e 2013, houve leve estratificação das camadas superficiais nas estações de montante do rio Madeira. Nos tributários de montante houve estabelecimento de estratos com temperaturas diferente em relação a superfície e fundo após a formação do reservatório, especialmente durante as águas baixas (por exemplo, novembro/2012 e outubro/2013). O lago Cuniã também apresentou estratificação térmica com frequência (Figura 5-5).

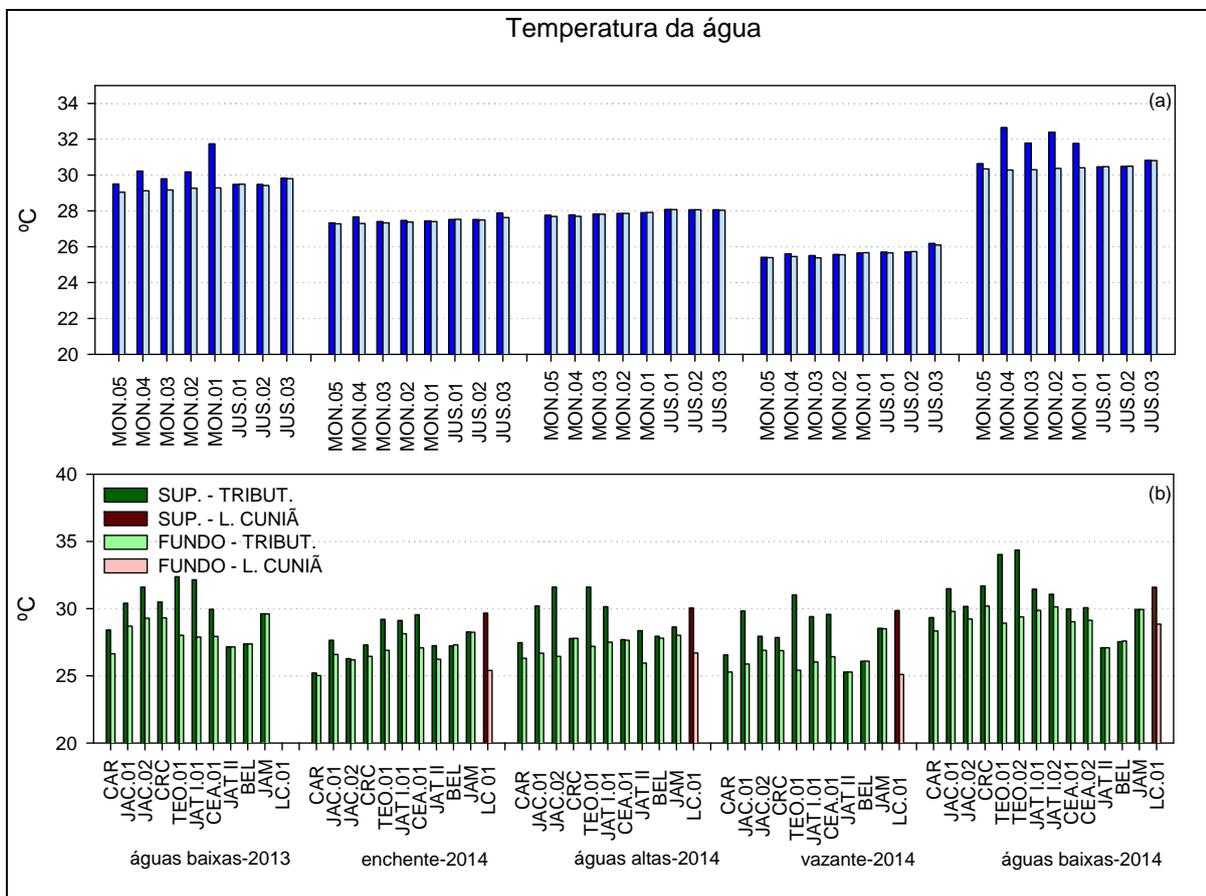


Figura 5-2 - Temperatura da água no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

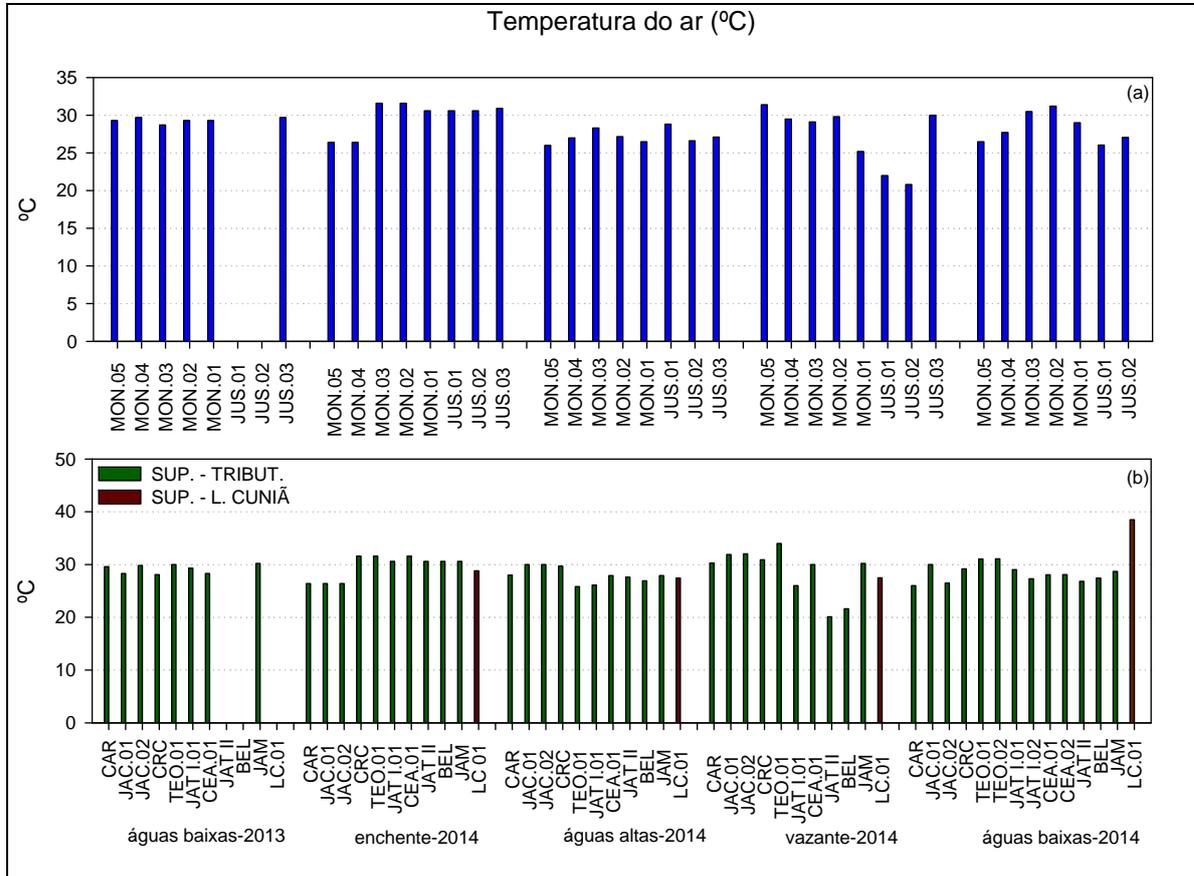


Figura 5-3 - Temperatura do ar no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

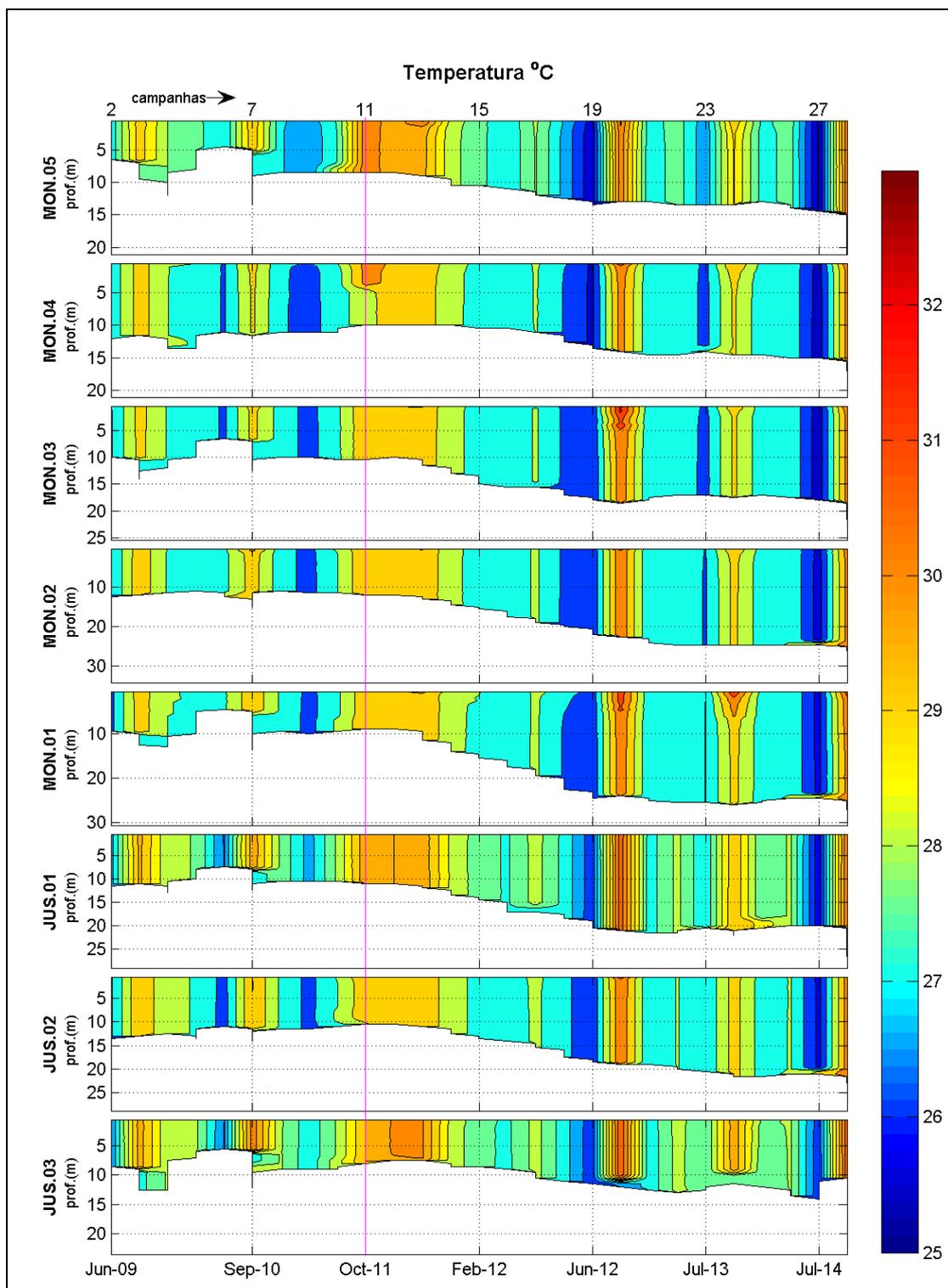
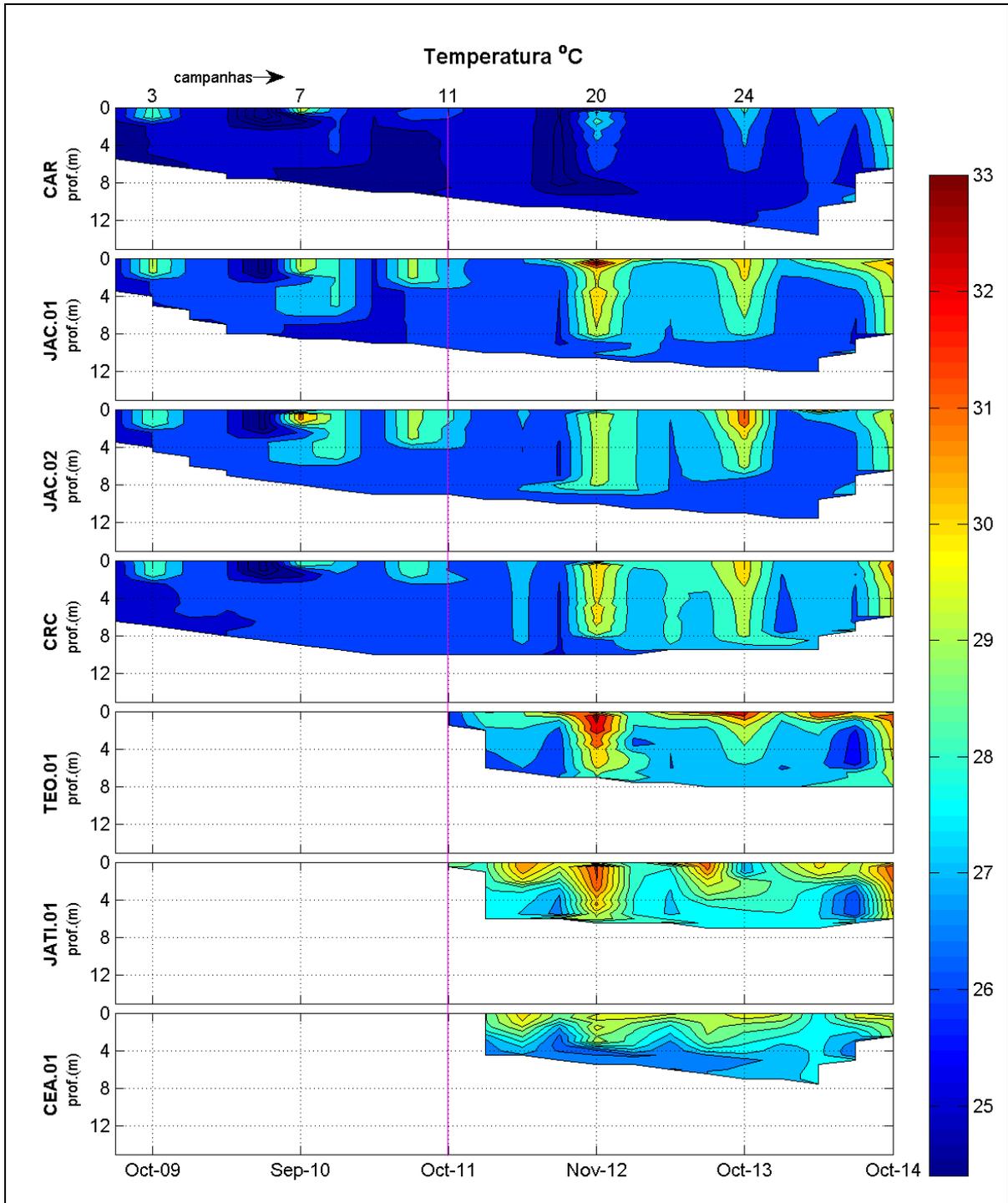


Figura 5-4 - Perfis verticais de temperatura da água no rio Madeira consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.



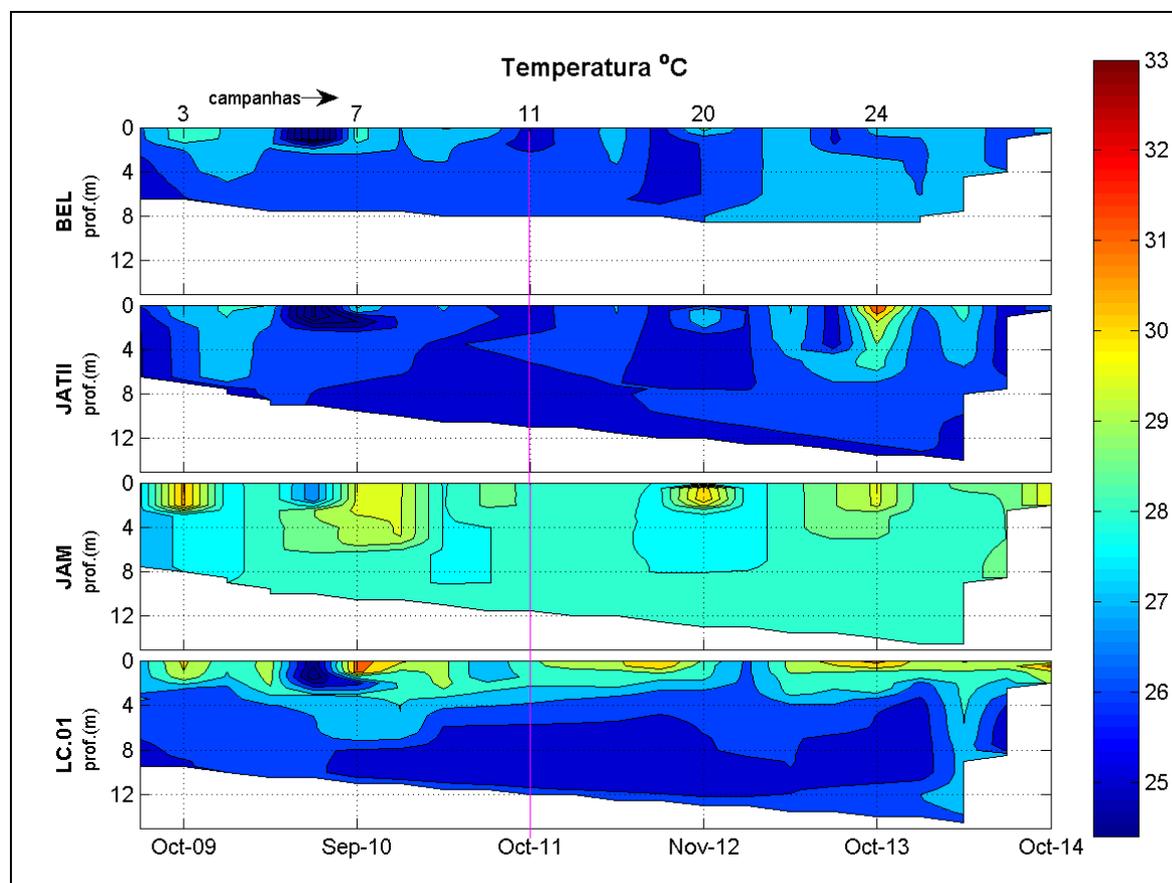


Figura 5-5 - Perfis verticais de temperatura da água nos tributários e no lago Cuniã (LC.01) consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.

### 5.1.1.2 - Profundidade, zona eufótica, cor e velocidade de corrente

No rio Madeira, as médias de profundidade variaram entre  $30,6 \pm 8,2$  m nas águas altas de 2014 e  $22,1 \pm 8,7$  m nas águas baixas de 2013. Nos tributários, a profundidade oscilou entre  $11,0 \pm 2,7$  m nas águas altas de 2014 e  $4,7 \pm 2,6$  m nas águas baixas de 2013. No lago Cuniã, a profundidade foi entre 14 m nas águas altas de 2014 e 2 m nas águas baixas 2014 (Figura 5-6).

Como o rio Madeira é um rio de águas brancas, com elevada carga de sólidos em suspensão, há baixa penetração de luz (Muntz, 1978). Isso explica a pequena zona eufótica registrada, no rio Madeira, que teve variação entre 0,30 m em todas as estações nas águas baixas de 2013 e na vazante de 2014 de 2014 e 0,15 m em todas as estações na enchente de 2014. Nos tributários, as médias oscilaram entre  $2,72 \pm 2,32$  m nas águas baixas de 2014 e  $1,5 \pm 1,2$  m nas águas altas de

2014 (Figura 5-7). No lago Cuniã, a zona eufótica variou entre 7,2 m na enchente de 2014 e 1,5 m nas águas altas e baixas de 2014.

A cor da água apresentou variação de  $83,3 \pm 9,2$  mg Pt/L nas águas altas de 2014 e  $31,9 \pm 5,4$  mg Pt/L nas águas baixas de 2014 nas estações do rio Madeira e  $61,9 \pm 22,8$  mg Pt/L nas águas altas de 2014 e  $31,3 \pm 14,4$  Pt/L na vazante de 2014 nos tributários. No lago Cuniã as médias variaram entre 86 mg Pt/L nas águas altas de 2014 e 15 mg Pt/L nas águas baixas de 2013. O limite de 75 mg Pt/L preconizado para corpos de água doce classe 2, pela Resolução CONAMA 357/2005 foi extrapolado em algumas estações do Madeira, dos tributários e no lago Cuniã (Figura 5-8).

A velocidade de corrente média no rio Madeira oscilou entre  $9,4 \pm 1,5$  km/h nas águas altas de 2014 e  $1,3 \pm 0,8$  km/h nas águas baixas de 2014. Nos tributários as médias foram de  $0,4 \pm 0,2$  km/h nas águas altas de 2014 a  $1,1 \pm 1,2$  km/h nas águas baixas de 2014. Em geral, a maior parte dos tributários não apresentou velocidade de corrente quantificável, assim como o lago Cuniã (Figura 5-9).

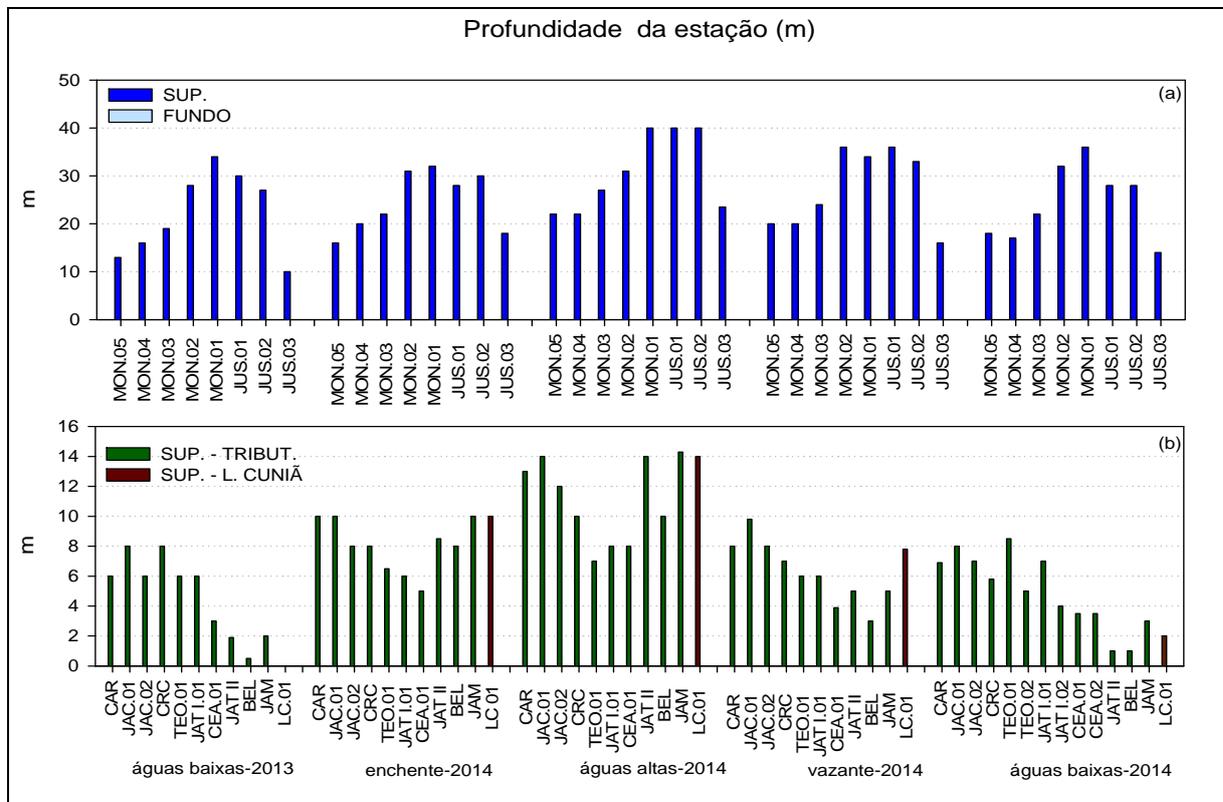


Figura 5-6 - Profundidade da coluna d'água no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

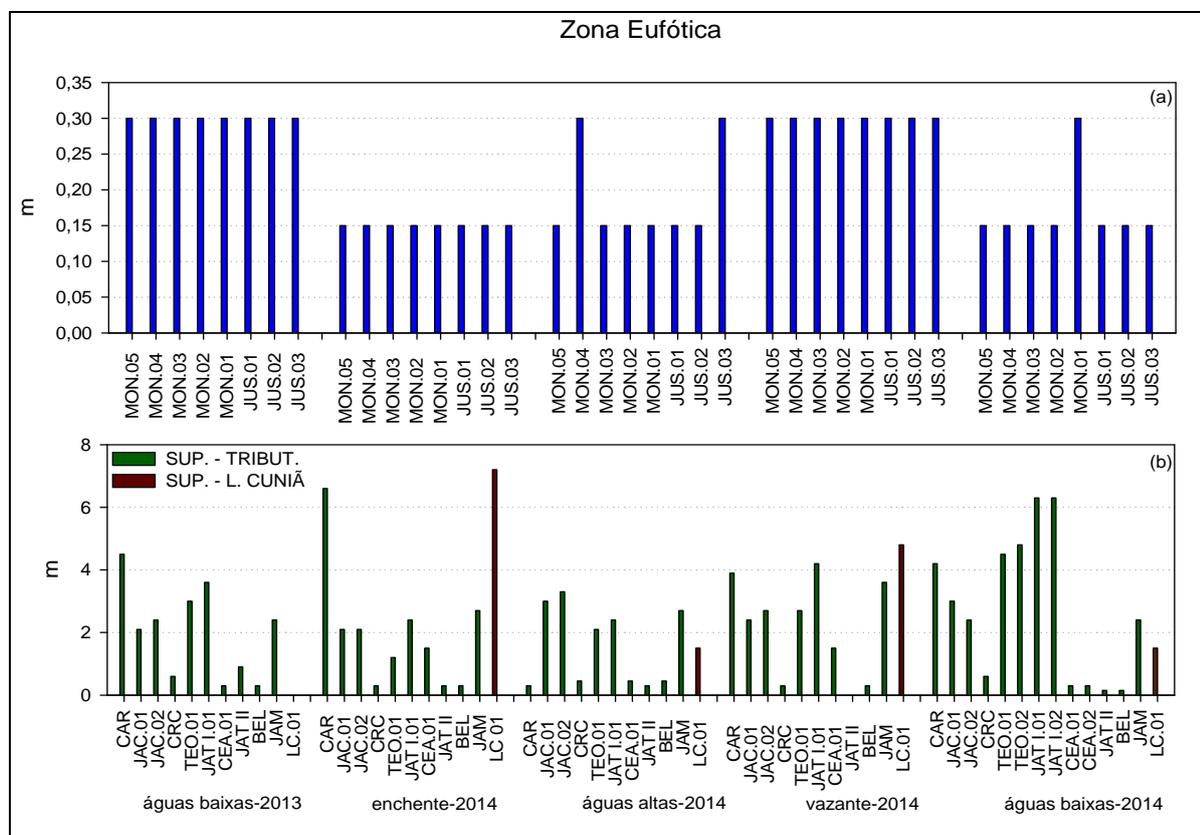


Figura 5-7 - Zona Eufótica da coluna d'água no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cunã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

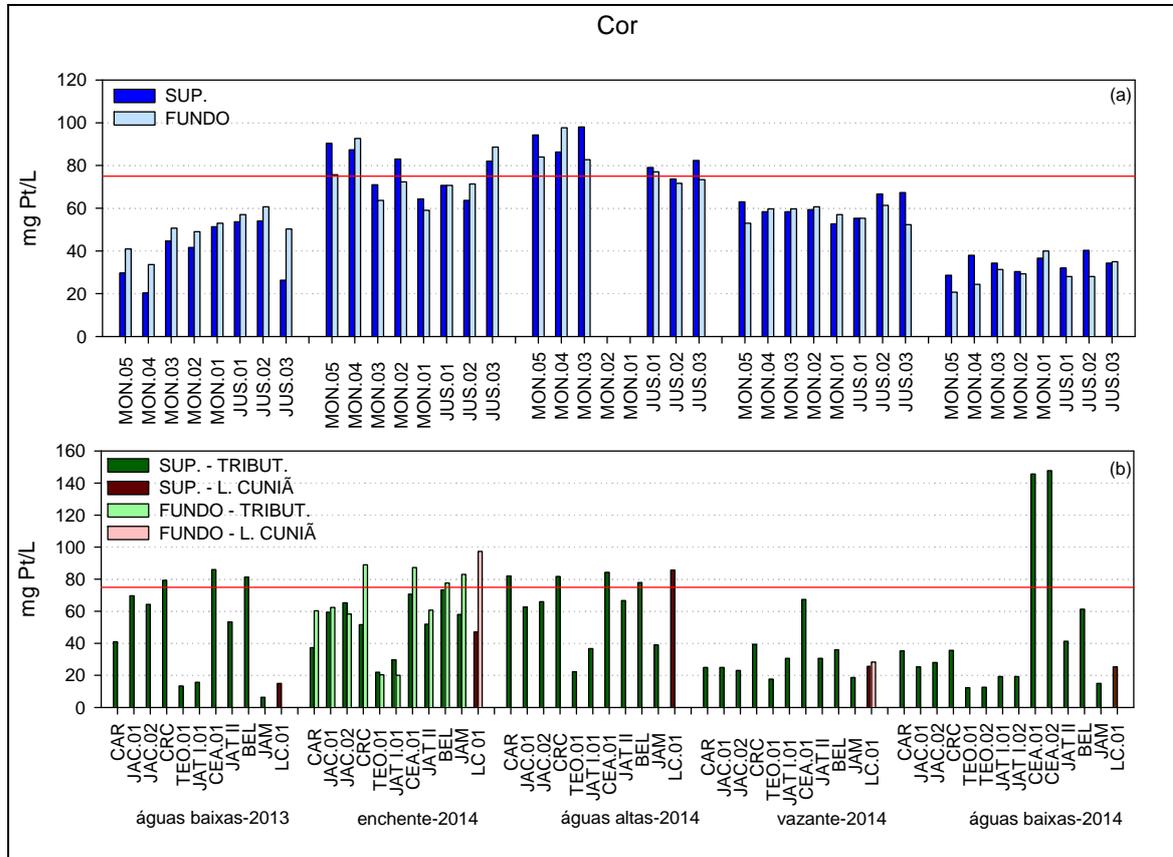


Figura 5-8 - Cor da água no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha representa o limite para água doce classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005.

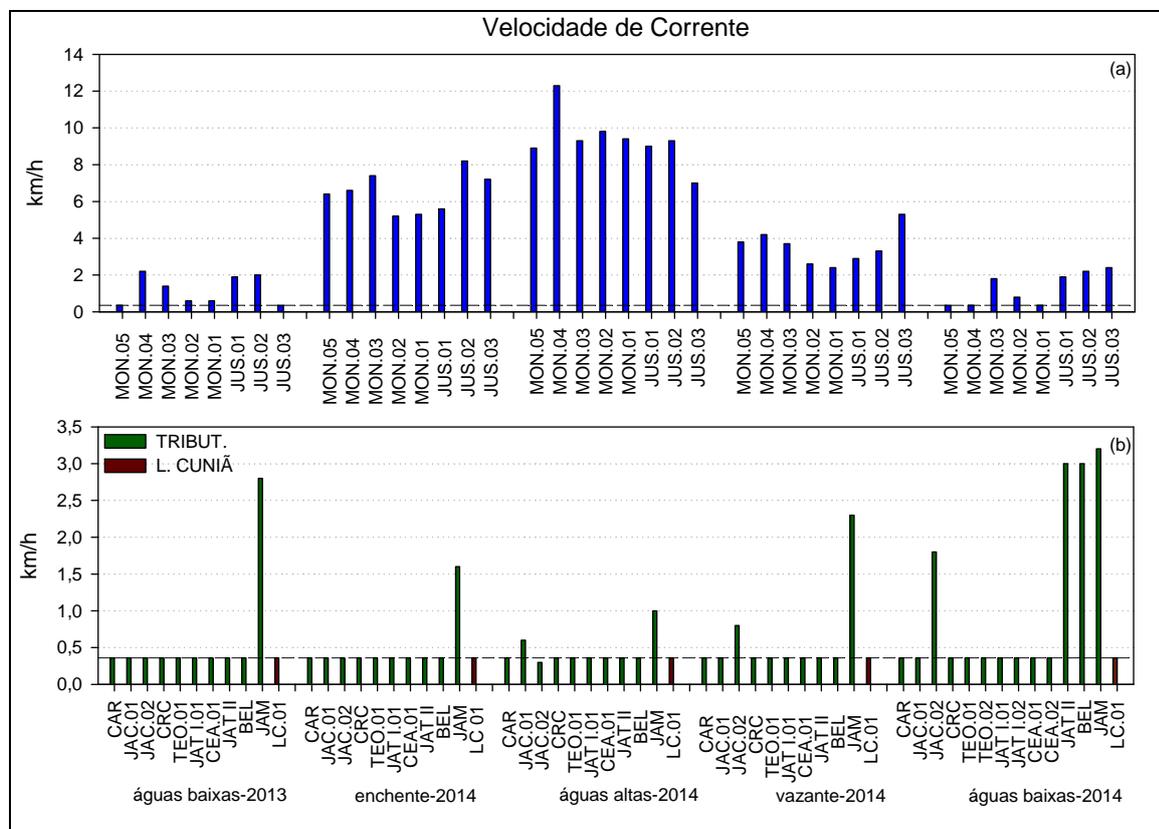


Figura 5-9 - Velocidade de corrente no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha pontilhada indica o limite de detecção (0,36 km/h).

## 5.1.2 - Físicas C

### 5.1.2.1 - Turbidez

A turbidez variou entre  $881 \pm 197$  NTU na enchente de 2014 e  $109 \pm 15$  NTU nas águas baixas de 2014, no rio Madeira. Nos tributários, oscilou entre  $76 \pm 146$  NTU na enchente de 2014 e  $32 \pm 29$  NTU na vazante de 2014. No lago Cuniã a turbidez teve variação entre 23,9 NTU nas águas altas de 2014 e 1,8 NTU na enchente de 2014 (Figura 5-10). A turbidez no rio Madeira esteve acima do limite de 100 NTU estipulado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, ao longo do tempo, mas boa parte dos tributários e do lago Cuniã apresentou valores abaixo desse limite. Altos valores de turbidez no rio Madeira representam uma característica natural desse rio, que é muito rico em sedimentos em suspensão erodidos da bacia de drenagem, especialmente durante o período de enchente, quando é atingido o pico da pluviosidade na região.

Os perfis de turbidez indicaram pouca tendência de variação vertical desse parâmetro no rio Madeira. Os perfis evidenciam muito bem a marcante sazonalidade da turbidez no rio Madeira, que foi mantida mesmo após a formação do reservatório (Figura 5-11). Nos tributários e no lago Cuniã os perfis apresentaram maior variação vertical, sendo que, com frequência, foi possível observar “manchas” de turbidez mais alta em alguns estratos da coluna d’água, tanto antes como após o enchimento, e tanto a montante como a jusante, o que indica entrada de águas provenientes do rio Madeira (Figura 5-12). Os perfis de turbidez nos tributários ilustram a complexidade dos processos hidrodinâmicos que acontecem nesses ambientes.

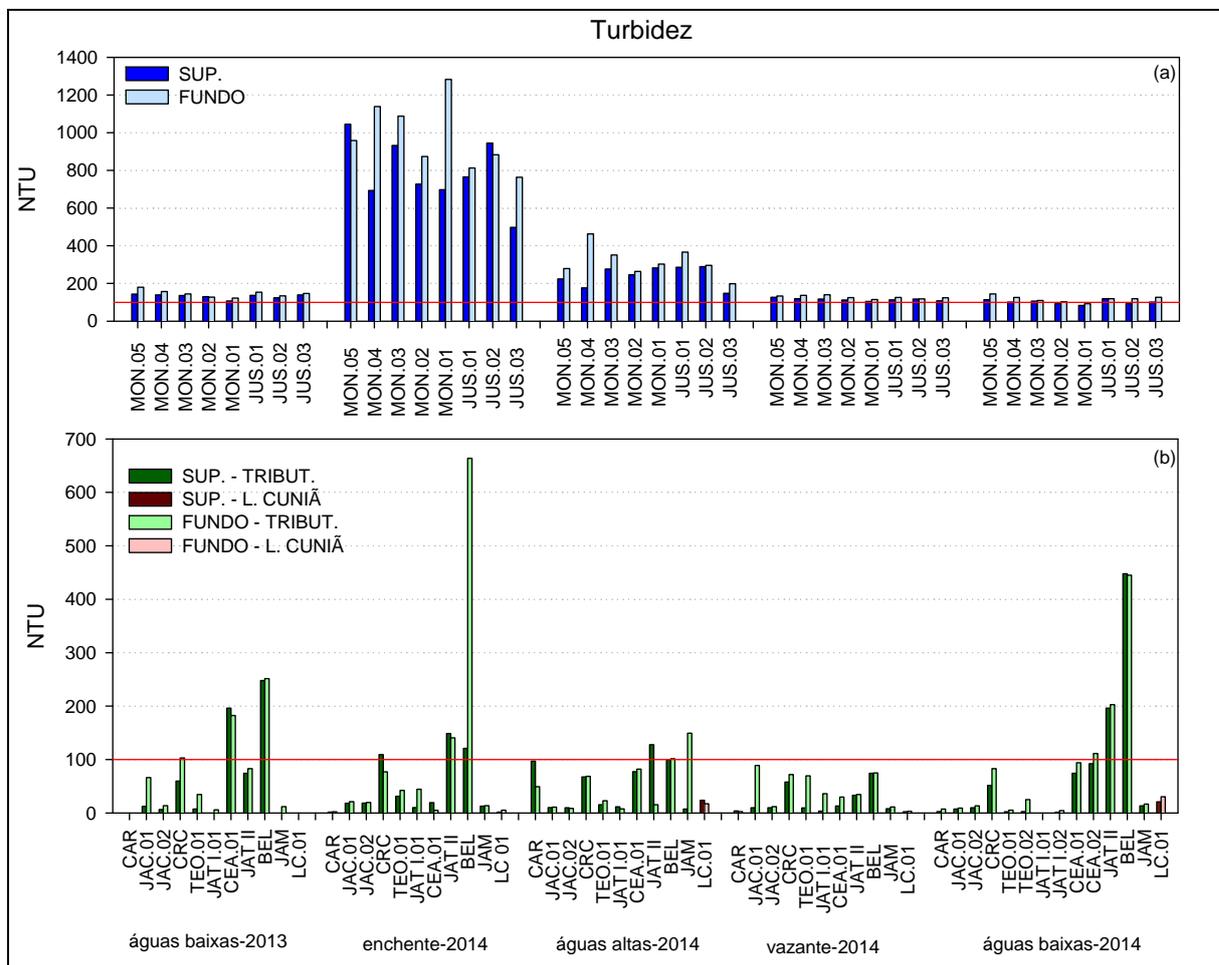


Figura 5-10 - Valores de turbidez no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano de operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha representa o limite para água doce classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005.

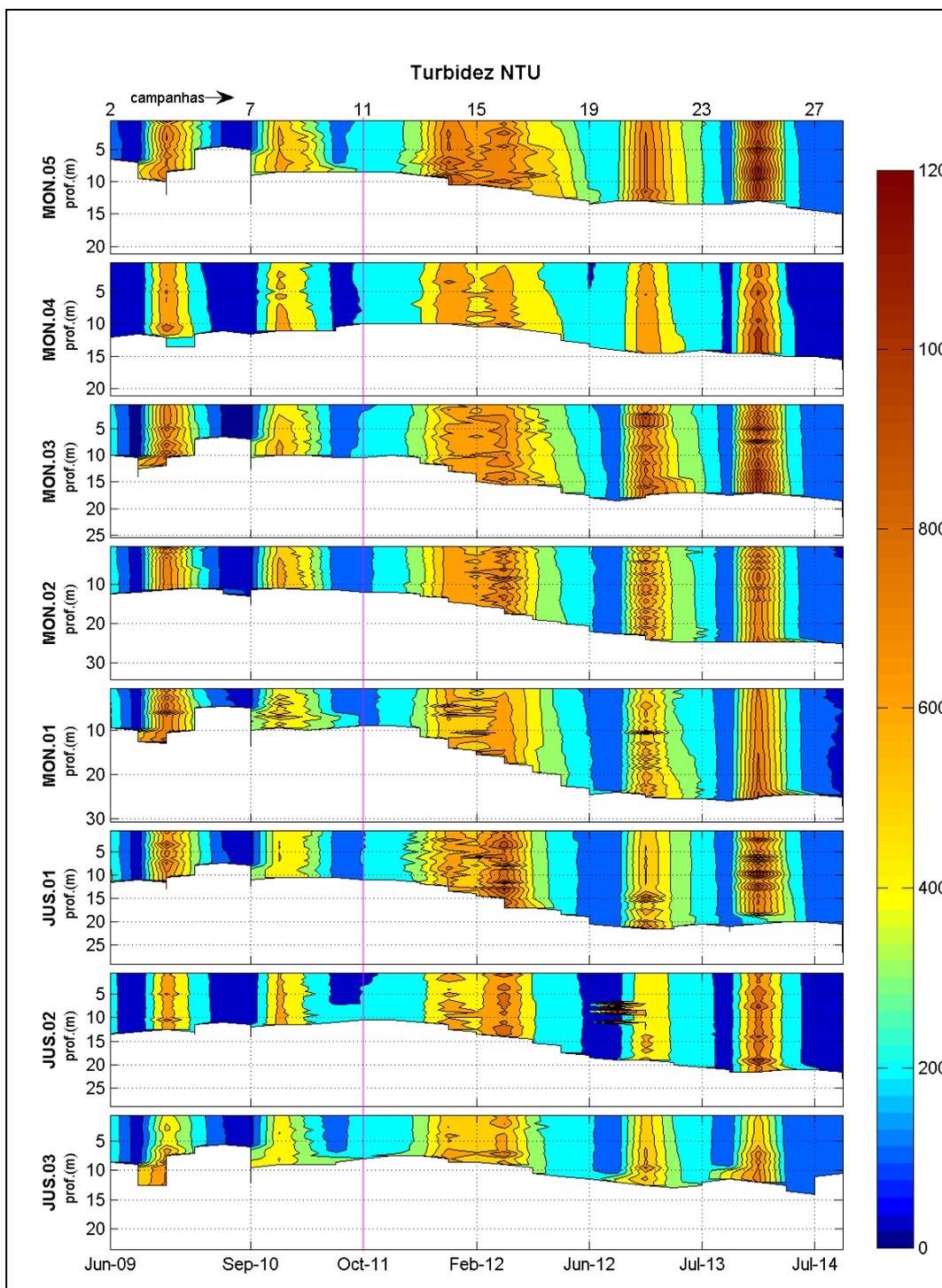
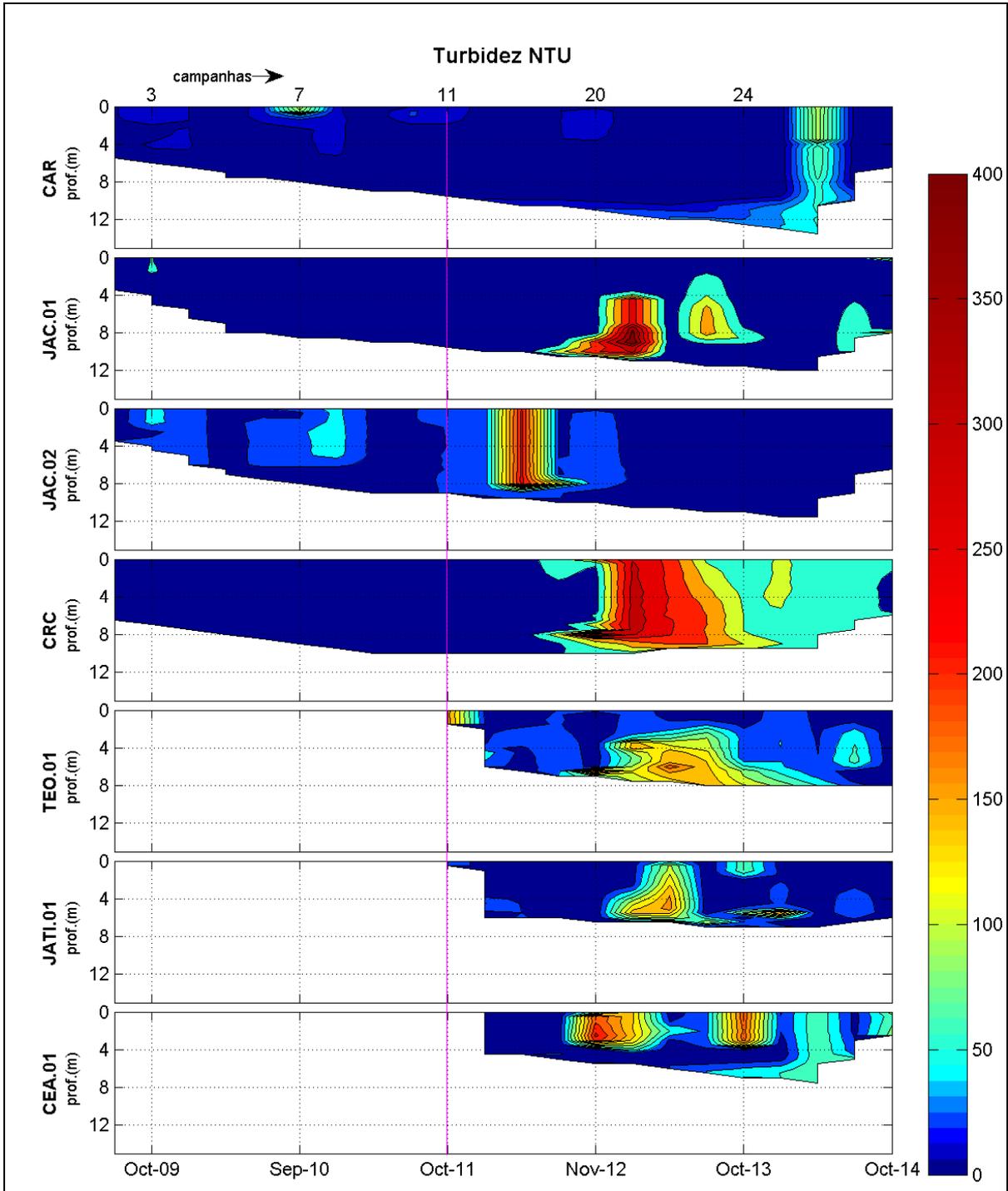


Figura 5-11 - Perfis verticais de turbidez no rio Madeira consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.



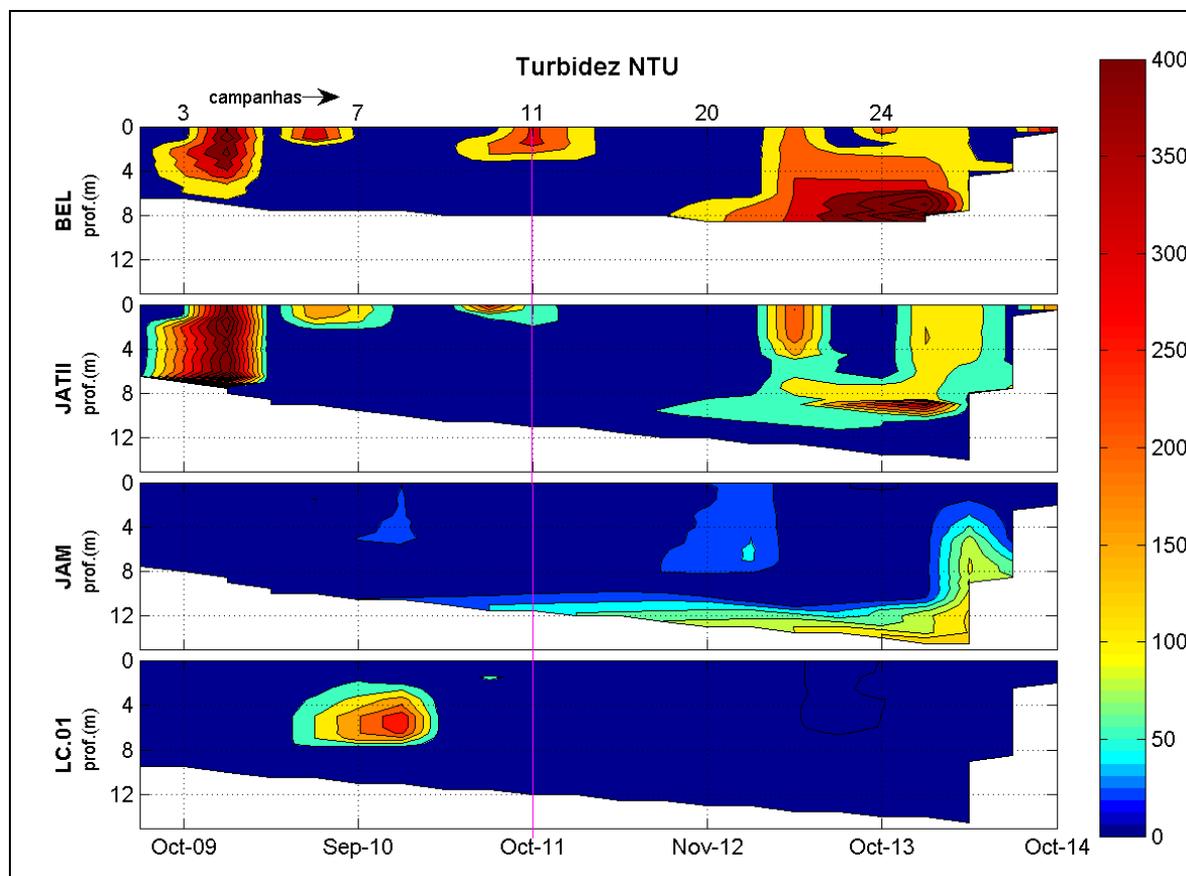


Figura 5-12 - Perfis verticais de turbidez nos tributários consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.

### 5.1.2.2 - Sólidos

Os rios de água branca, como o rio Madeira, apresentam elevado teor de sólidos, especialmente em suspensão (McClain & Naiman, 2008). As elevadas concentrações de sólidos são provenientes da erosão do flanco dos barrancos e carreamento de sedimentos suspensos, principalmente na parte andina da bacia.

Os sólidos totais, no rio Madeira, apresentaram variação entre  $1013 \pm 255$  mg/L na enchente de 2014 e  $121 \pm 30$  mg/L nas águas baixas de 2013. Já nos tributários, os valores oscilaram entre  $181 \pm 350$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $39 \pm 29$  mg/L na vazante de 2014 (Figura 5-13). No lago Cuniã, as concentrações tiveram variação entre 47 mg/L nas águas altas de 2014 e 21 mg/L nas águas baixas de 2013.

As concentrações médias de sólidos em suspensão no rio Madeira variaram entre  $489 \pm 205$  mg/L na enchente de 2014 e  $78 \pm 26$  mg/L nas águas baixas de 2014. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $85 \pm 186$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $18 \pm 23$  mg/L na vazante de 2014. No lago Cuniã, os valores oscilaram entre 2 mg/L nas águas baixas de 2013 e 19 mg/L nas águas baixas de 2013 (Figura 5-14).

No rio Madeira, as concentrações médias de sólidos dissolvidos variaram entre  $524,0 \pm 178,0$  mg/L na enchente de 2014 e  $20,8 \pm 13,8$  mg/L na vazante de 2014. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $96 \pm 164$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $7 \pm 5$  mg/L nas águas baixas de 2013. No lago Cuniã, os valores variaram entre 10,2 mg/L nas águas baixas de 2013 e 34 mg/L nas águas altas de 2014 (Figura 5-15). As concentrações do rio Madeira estiveram acima do limite de 500 mg/L estipulado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005 no período de enchente de 2014, mas todos os demais períodos no rio Madeira além dos tributários e o lago Cuniã apresentaram valores abaixo desse limite. Durante a enchente, o transporte de material terrestre erodido da bacia de drenagem é maior, em função da pluviosidade mais acentuada.

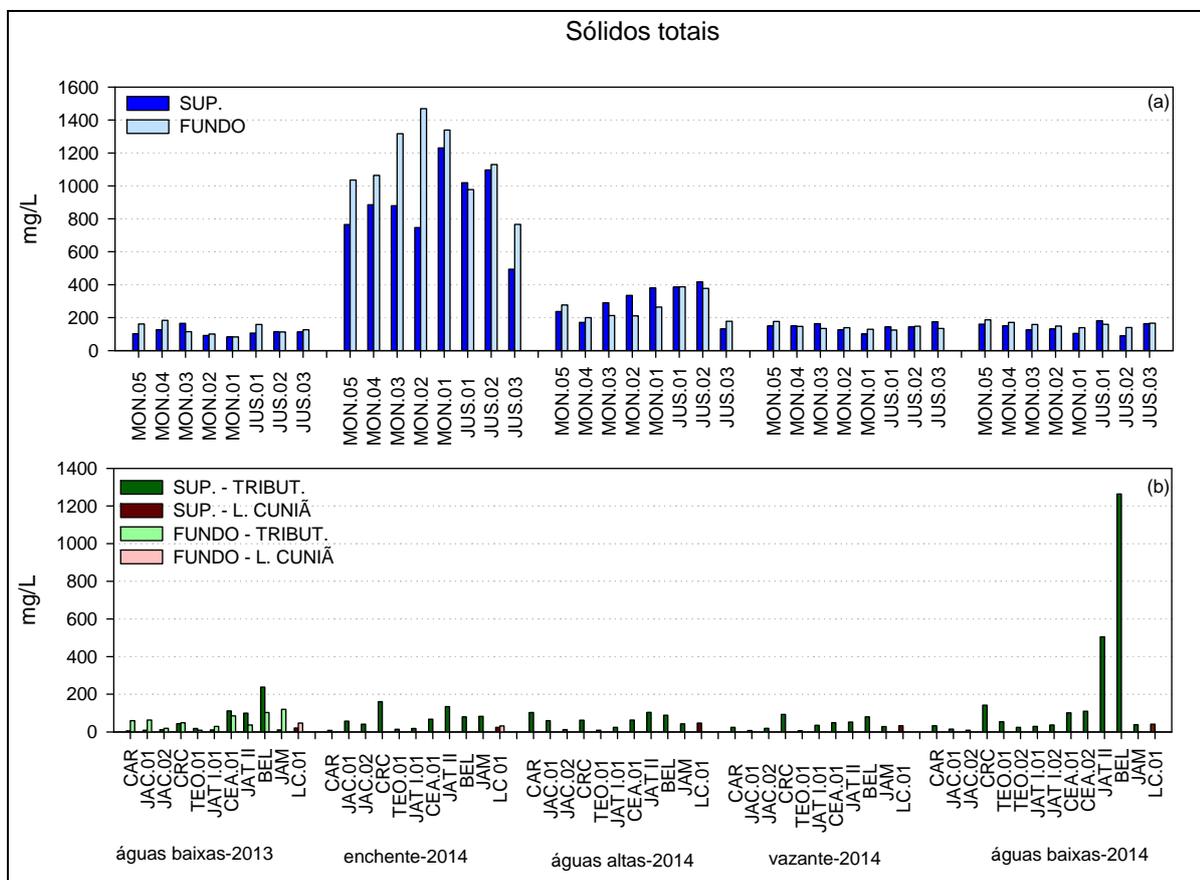


Figura 5-13 - Concentrações de sólidos totais no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

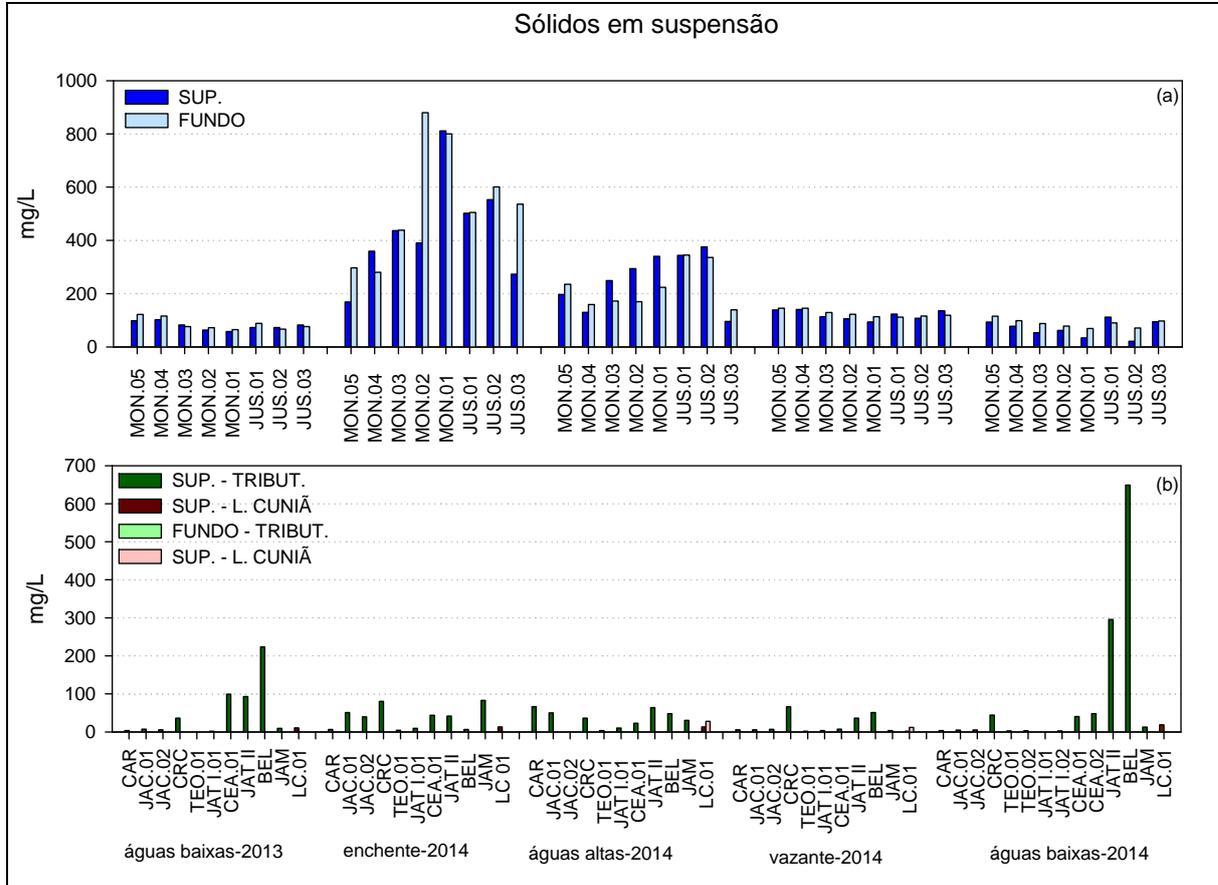


Figura 5-14 - Concentrações de sólidos em suspensão no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

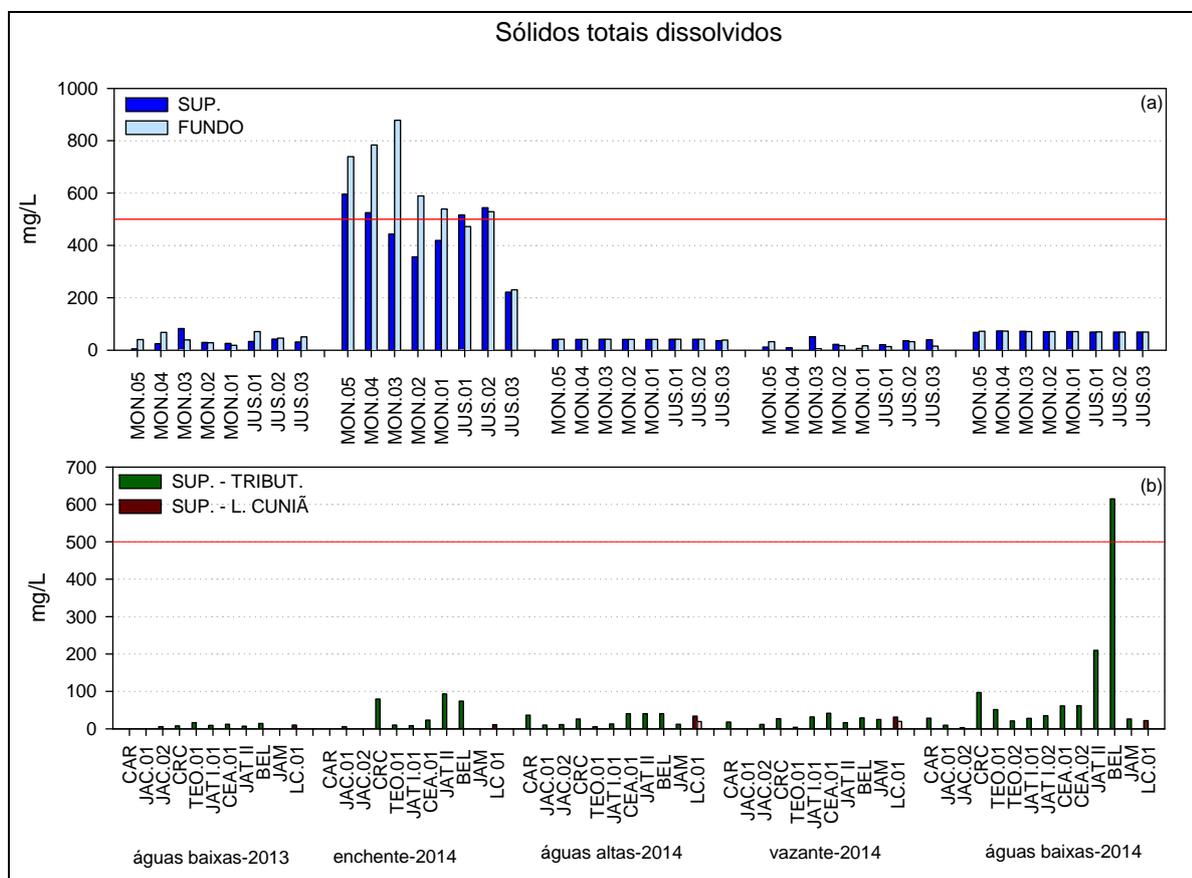


Figura 5-15 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha representa o limite para água doce classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005.

### 5.1.2.3 - Condutividade elétrica

A condutividade elétrica apresentou variação de  $118,4 \pm 1,5 \mu\text{S/cm}$  nas águas baixas de 2013 e  $62,6 \pm 2,3 \mu\text{S/cm}$  nas águas altas de 2014 no rio Madeira e  $47,3 \pm 32,04 \mu\text{S/cm}$  nas águas baixas de 2013 e  $19,8 \pm 16,1 \mu\text{S/cm}$  na enchente de 2014 nos tributários. (Figura 5-16). No lago Cuniã, a condutividade elétrica oscilou entre  $52 \mu\text{S/cm}$  nas águas altas de 2014 e  $8 \mu\text{S/cm}$  na enchente de 2014 e no fundo esteve entre  $29,7 \mu\text{S/cm}$  águas altas de 2014 e  $9 \mu\text{S/cm}$  nas águas baixas e enchente de 2014.

Os perfis de condutividade ao longo da coluna d'água indicaram que não há diferença entre superfície e fundo no rio Madeira, e que a sazonalidade característica dessa variável foi mantida mesmo após a formação do reservatório (Figura 5-17). Os perfis de condutividade nos tributários apresentaram padrão semelhante ao observado para a turbidez, com picos em determinados

estratos da coluna d'água, novamente indicando entrada de águas do rio Madeira, que apresenta maior condutividade elétrica (Figura 5-18).

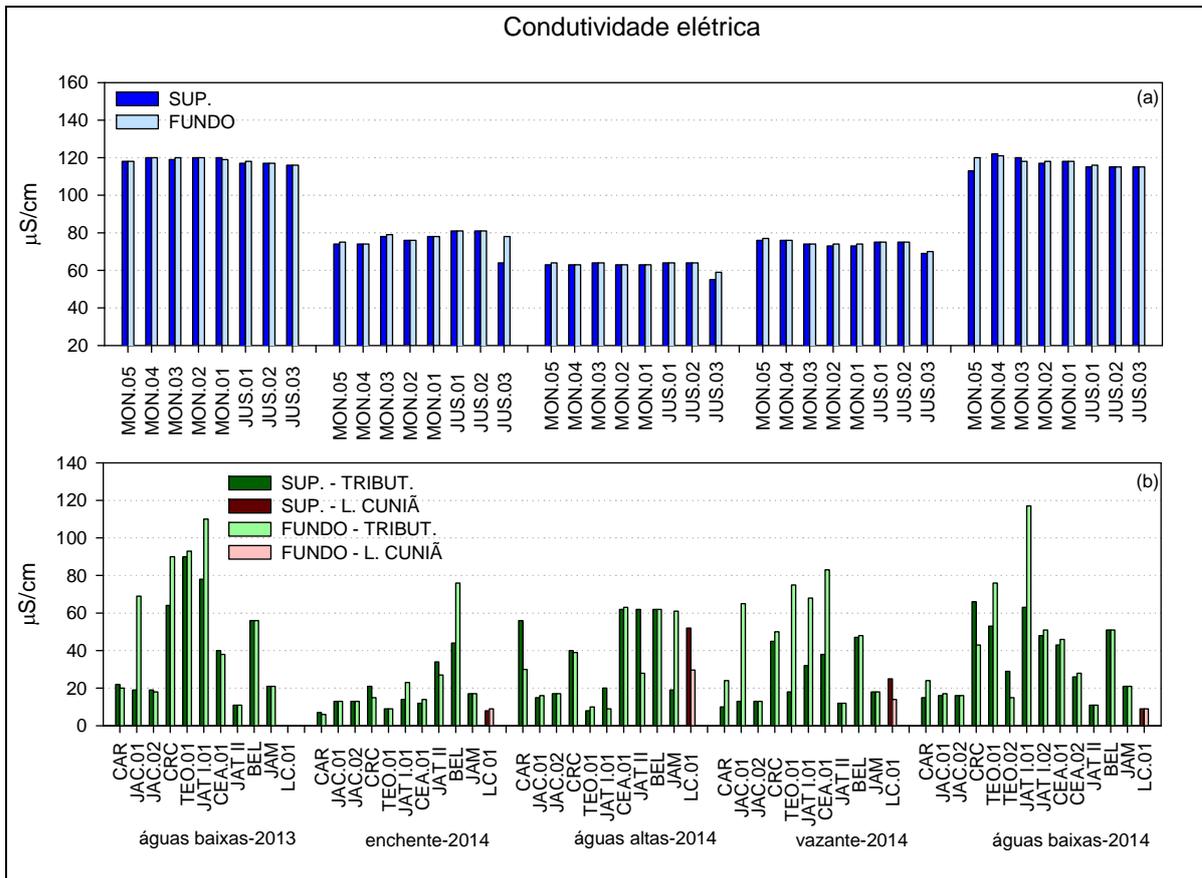


Figura 5-16 - Valores de condutividade elétrica no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

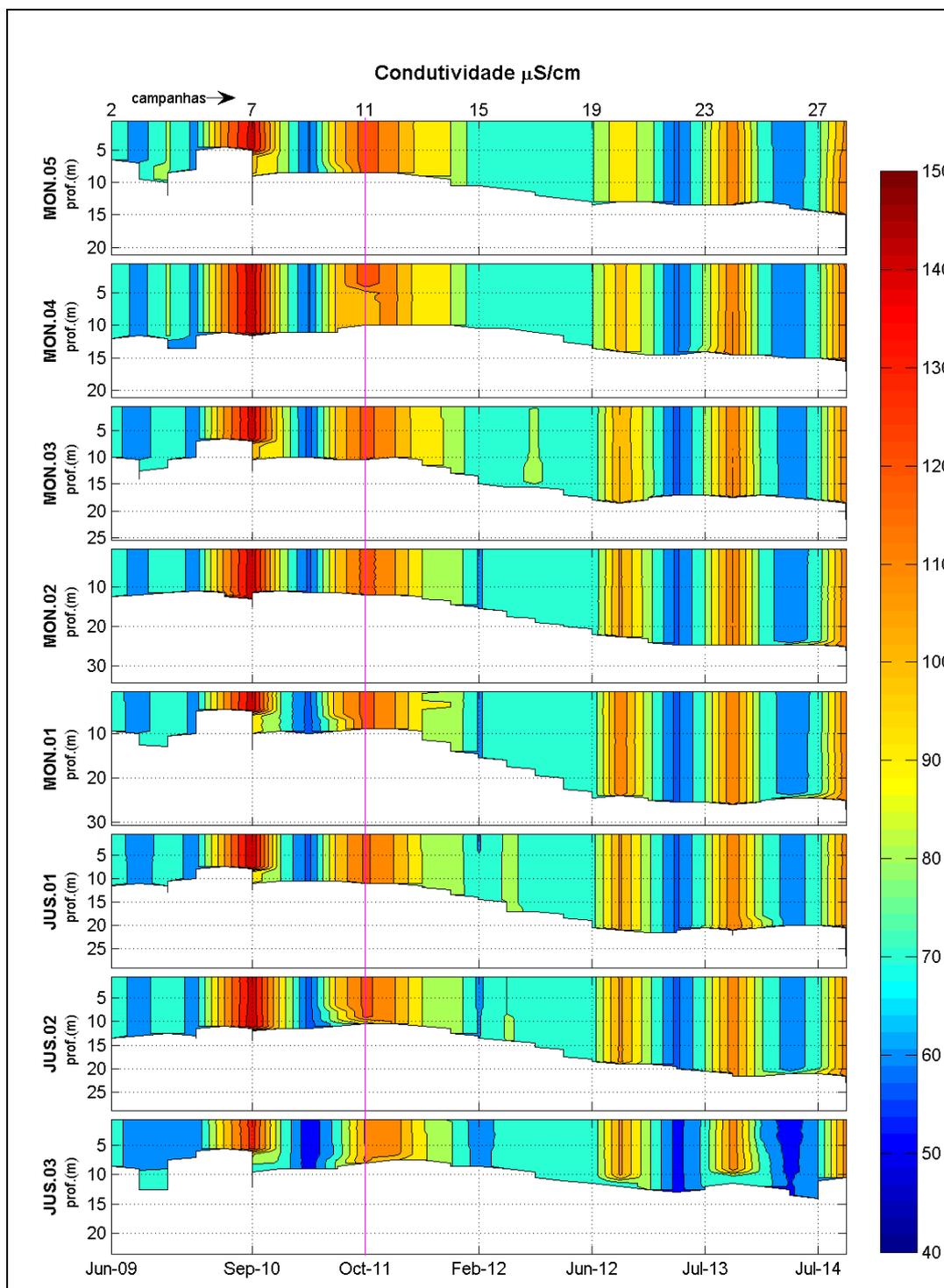
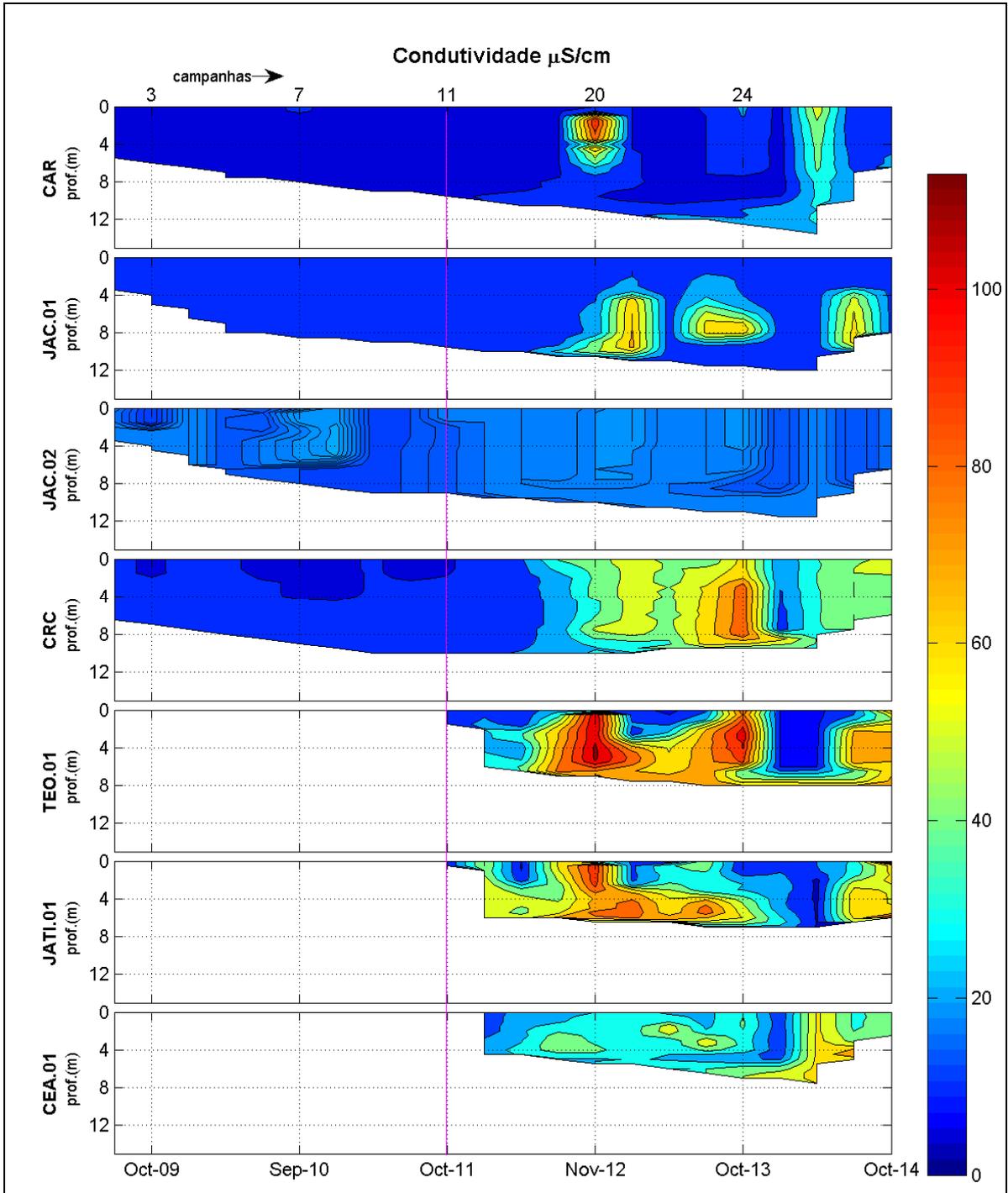


Figura 5-17 - Perfis verticais de condutividade elétrica no rio Madeira consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.



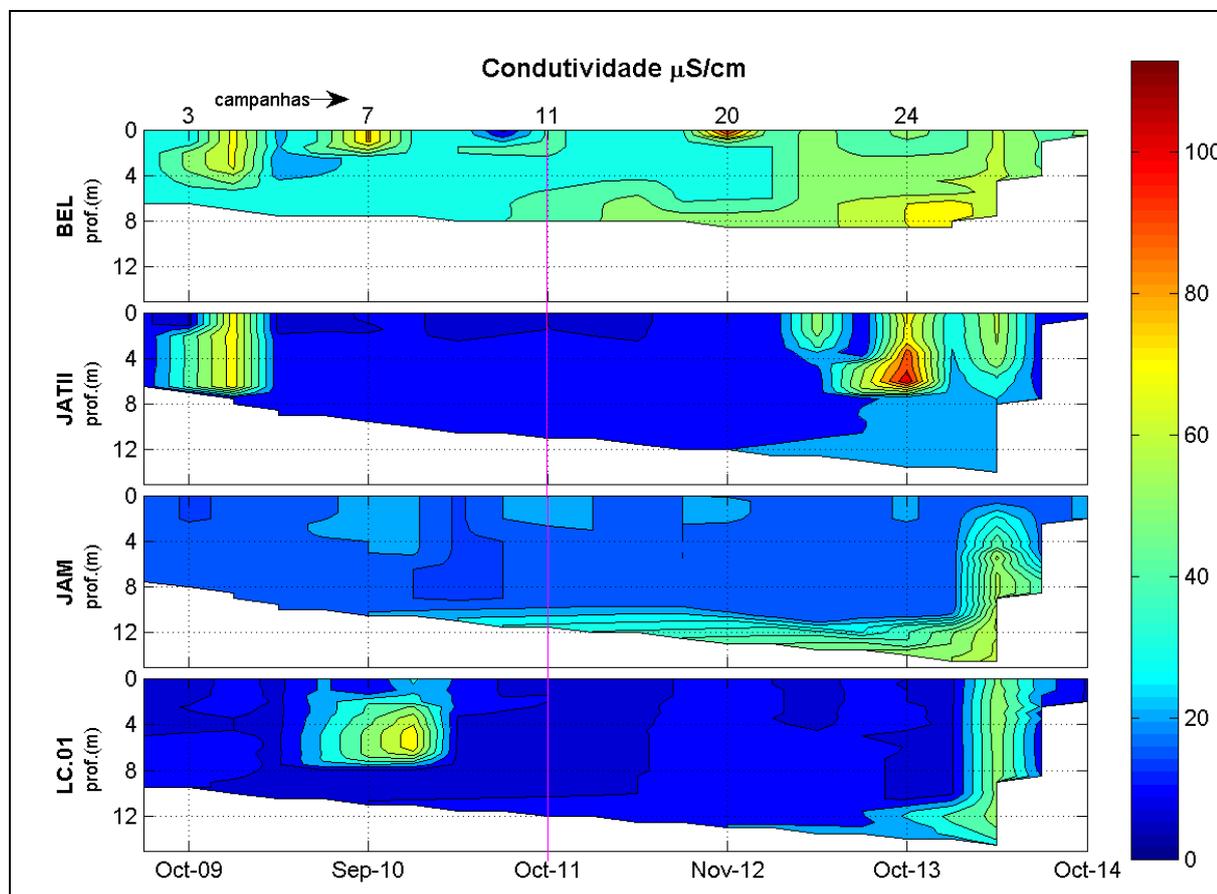


Figura 5-18 - Perfis verticais de condutividade elétrica nos tributários consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.

#### 5.1.2.4 - Potencial hidrogeniônico (pH)

No rio Madeira, o pH variou entre  $7,58 \pm 0,09$  nas águas baixas de 2014 e  $6,09 \pm 0,12$  nas águas altas de 2014. Nos tributários, oscilou entre  $6,56 \pm 0,47$  nas águas baixas de 2014 e  $5,62 \pm 0,43$  nas águas altas de 2014. No lago Cuniã, o pH teve variação entre 6,5 na vazante e 6,14 nas águas altas de 2014 (Figura 5-19). Houve maior variação espacial nos tributários. A maior parte das estações do rio Madeira apresentou pH dentro do intervalo determinado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, mas alguns tributários tiveram valores inferiores a 6, indicando águas ácidas. Trata-se de uma condição natural de rios amazônicos.

Os perfis de pH do rio Madeira indicaram em geral pouca variação vertical, mas com leve tendência de diminuição em direção ao fundo em algumas ocasiões, mesmo antes da formação do reservatório (Figura 5-20). Nos tributários, tanto a montante como a jusante, além do lago

Cuniã, houve também tendência de diminuição do pH em direção do fundo na maior parte do tempo (Figura 5-21). Essa diminuição vertical do pH pode ser resultado do aumento da respiração e diminuição da produção primária na medida em que se avança da superfície em direção ao fundo.

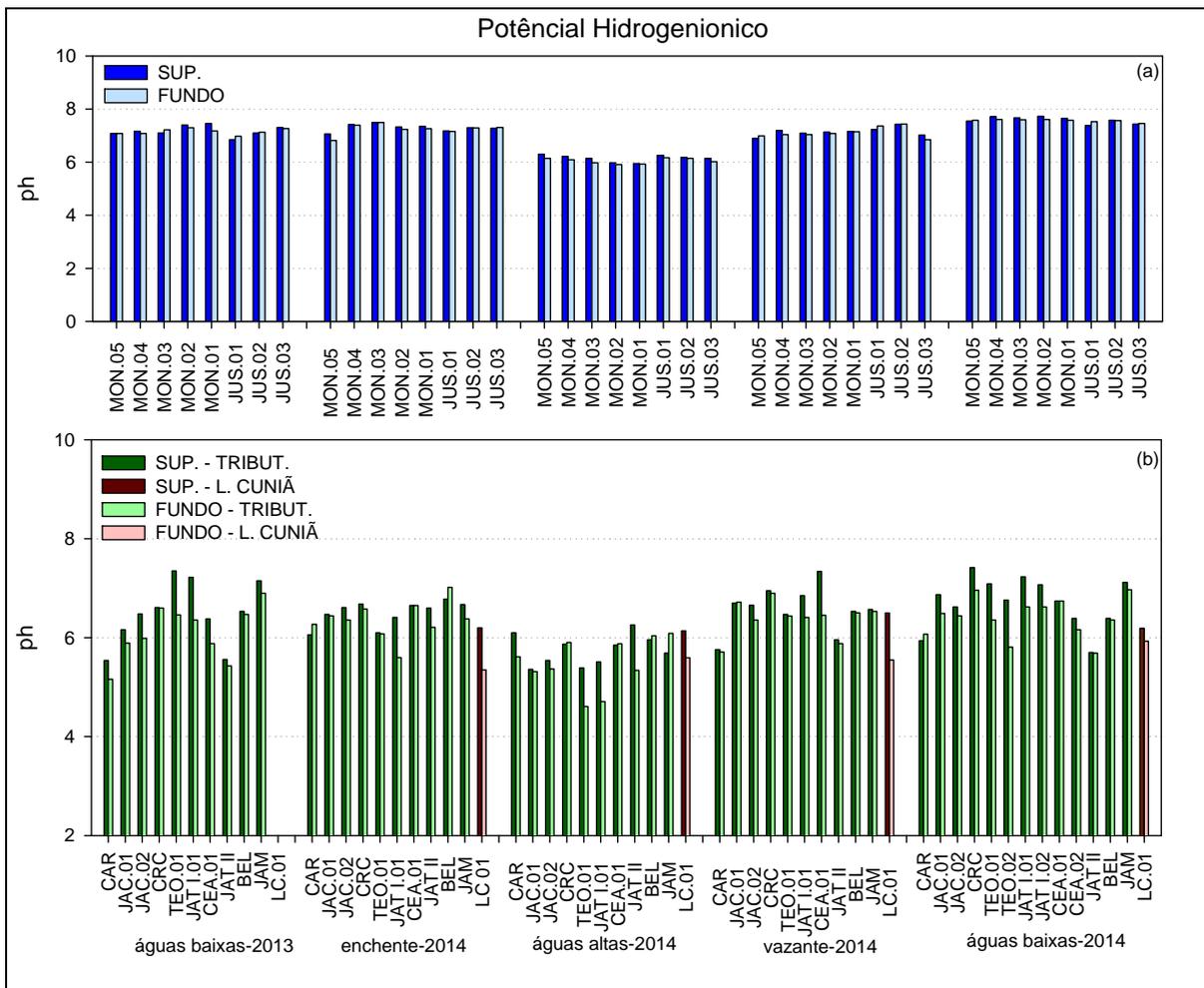


Figura 5-19 - Valores de pH no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

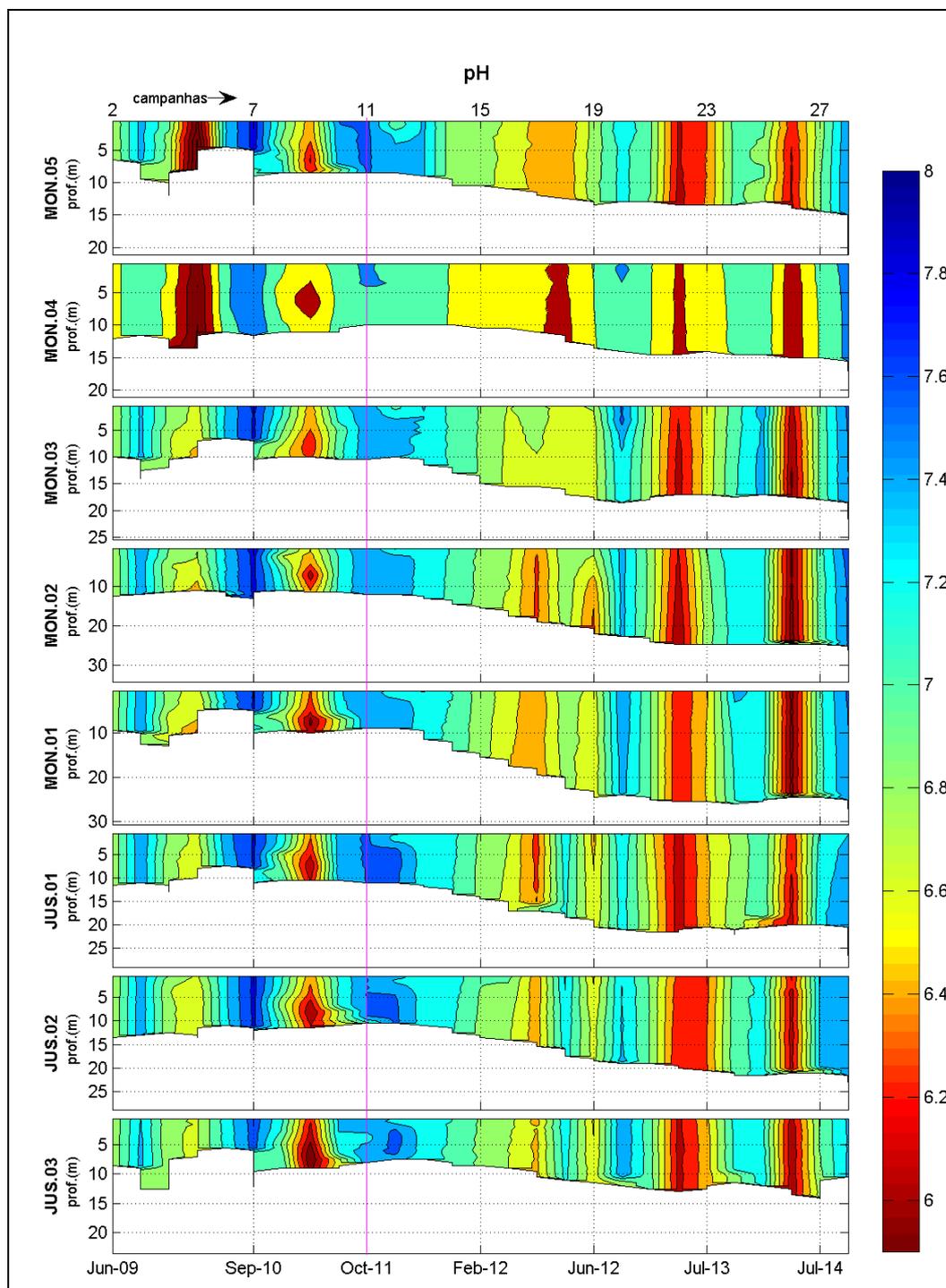
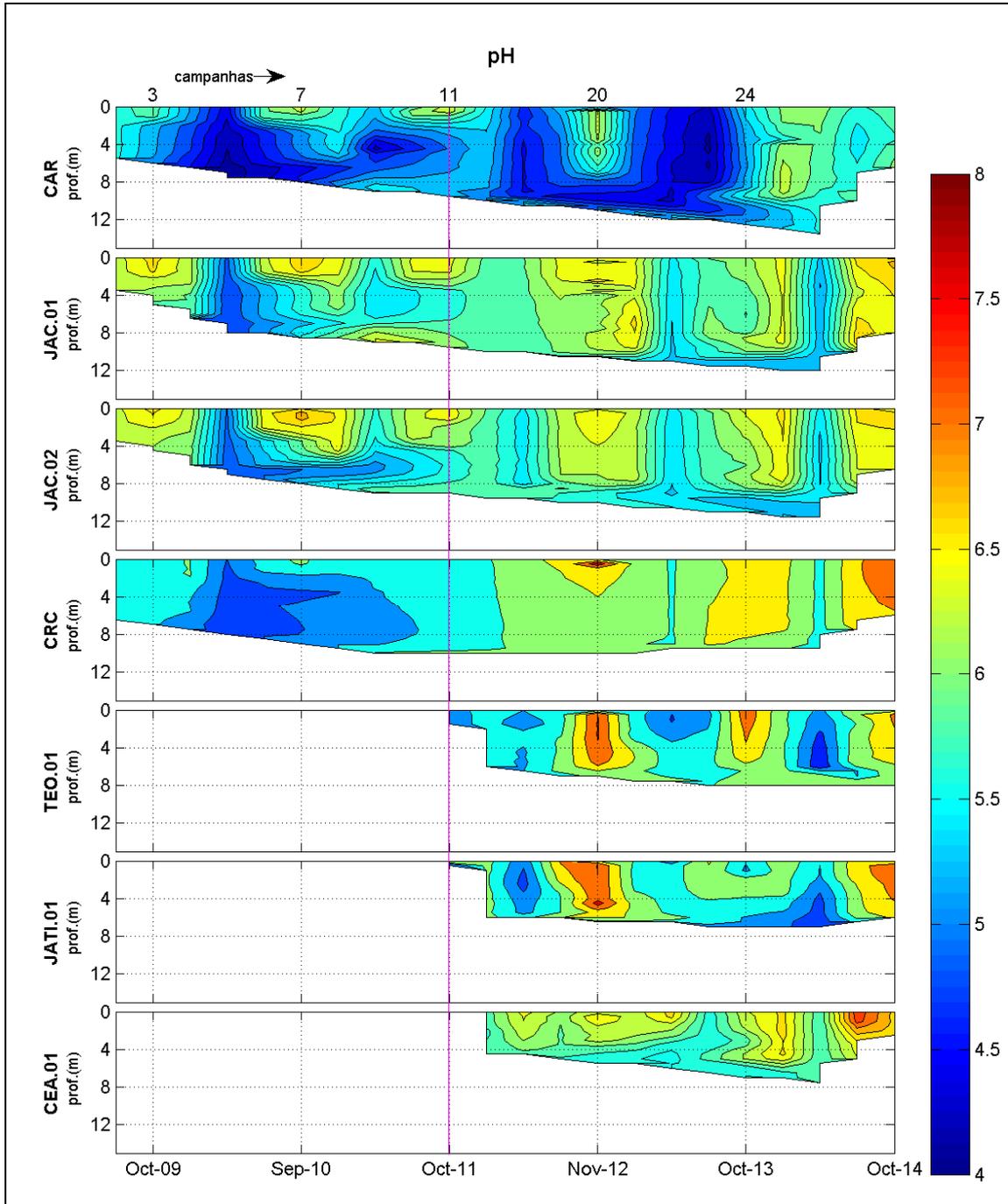


Figura 5-20 - Perfis de pH no rio Madeira consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.



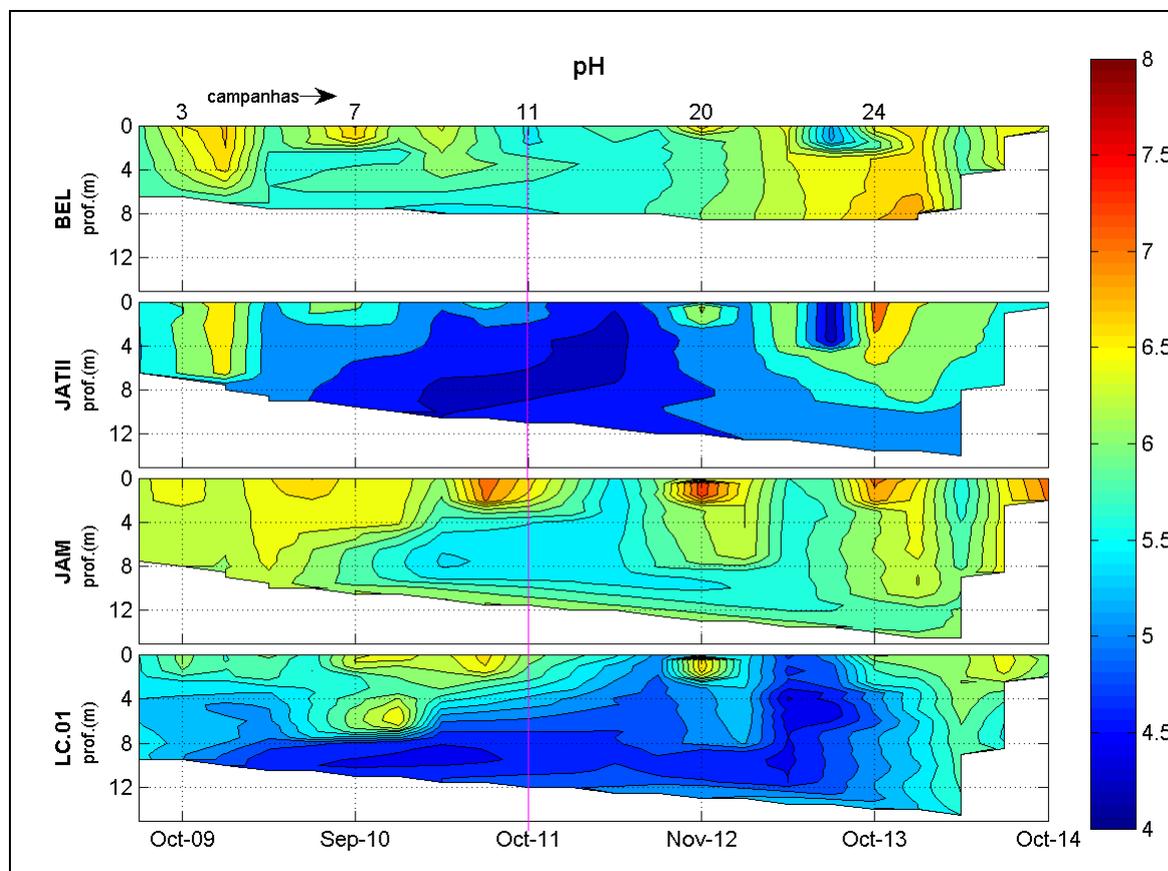


Figura 5-21 - Perfis de pH nos tributários e no lago Cuniã (LC.01) consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.

### 5.1.3 - Químicas I-A

#### 5.1.3.1 - Oxigênio dissolvido

No rio Madeira, as concentrações médias de oxigênio dissolvido variaram entre  $8,8 \pm 0,3$  mg/L na vazante de 2014 e  $5,6 \pm 0,4$  mg/L nas águas altas de 2014. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $4,6 \pm 2,5$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $3,6 \pm 1,6$  mg/L na enchente de 2014. Já no lago Cuniã as concentrações variaram entre 3,7 mg/L na vazante e 7,2 mg/L nas águas baixas de 2014. As concentrações do rio Madeira estiveram acima do limite de 5 mg/L estipulado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, mas boa parte dos tributários e do lago Cuniã apresentou valores abaixo desse limite (Figura 5-22).

Maiores concentrações no rio Madeira são explicadas possivelmente pelo fato de que nas estações do rio Madeira, embora a produção primária seja baixa em razão da pequena zona eufótica, a turbulência é maior, o que favorece a difusão de oxigênio para a água. No rio Madeira, as concentrações aumentam após a passagem da água pelos vertedouros e turbinas, que favorece a difusão de oxigênio. Essa dinâmica é bastante comum em ambientes aquáticos amazônicos, em decorrência da entrada de matéria orgânica alóctone e maior tempo de residência da água.

Os perfis verticais de oxigênio indicaram haver pouca variação das concentrações entre superfície e fundo no rio Madeira, mesmo após o enchimento. Os perfis evidenciam claramente a tendência de supersaturação do oxigênio após a passagem pelas turbinas e vertedouros, de modo que as estações de jusante apresentaram concentrações bastante superiores às de montante (Figura 5-23). Com exceção do rio Jamari, o lago Cuniã e todos os tributários de montante e de jusante apresentaram, em algum momento, tendência de diminuição das concentrações de oxigênio em direção ao fundo. Esse gradiente vertical foi mais nítido em TEO.01, JAT I.01 e CEA.01, possivelmente devido à formação do reservatório (Figura 5-24).

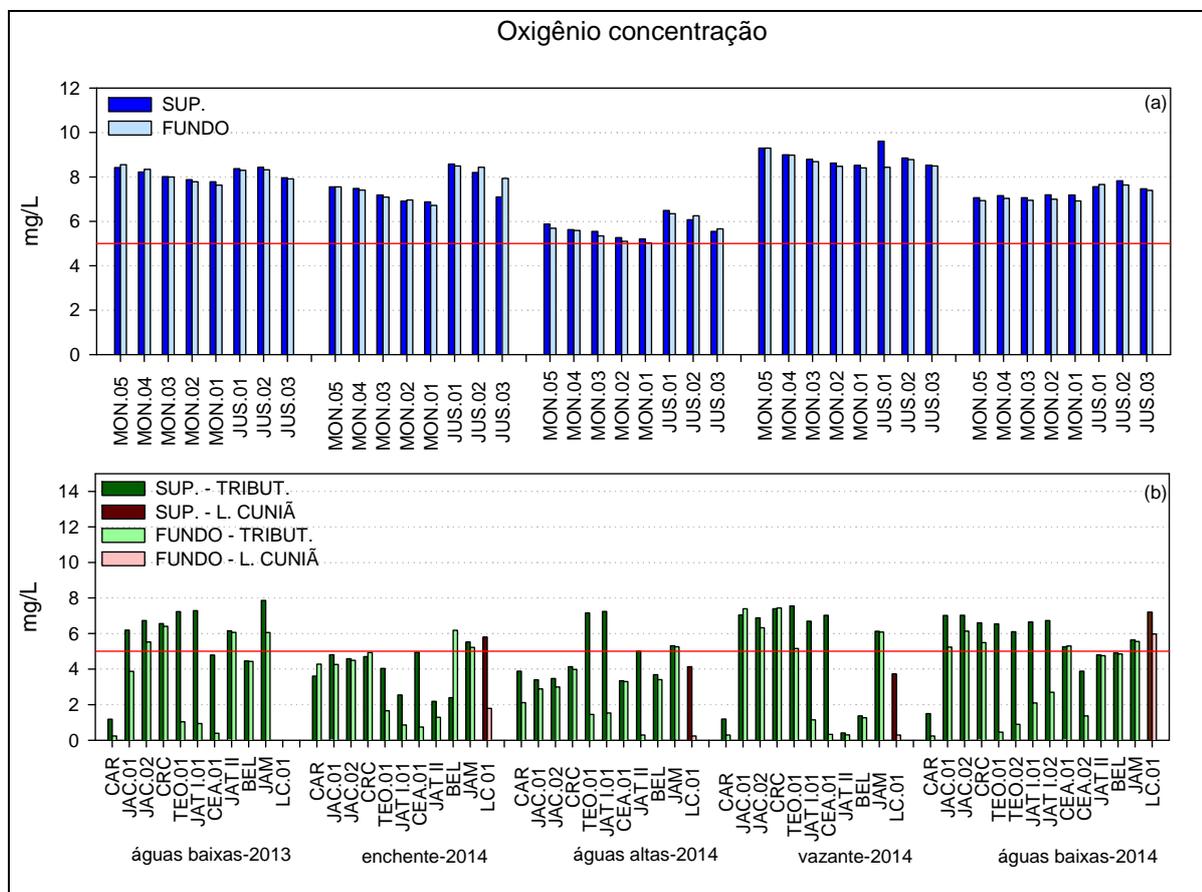


Figura 5-22 - Concentrações de oxigênio concentração no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha representa o limite mínimo para água doce classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005.

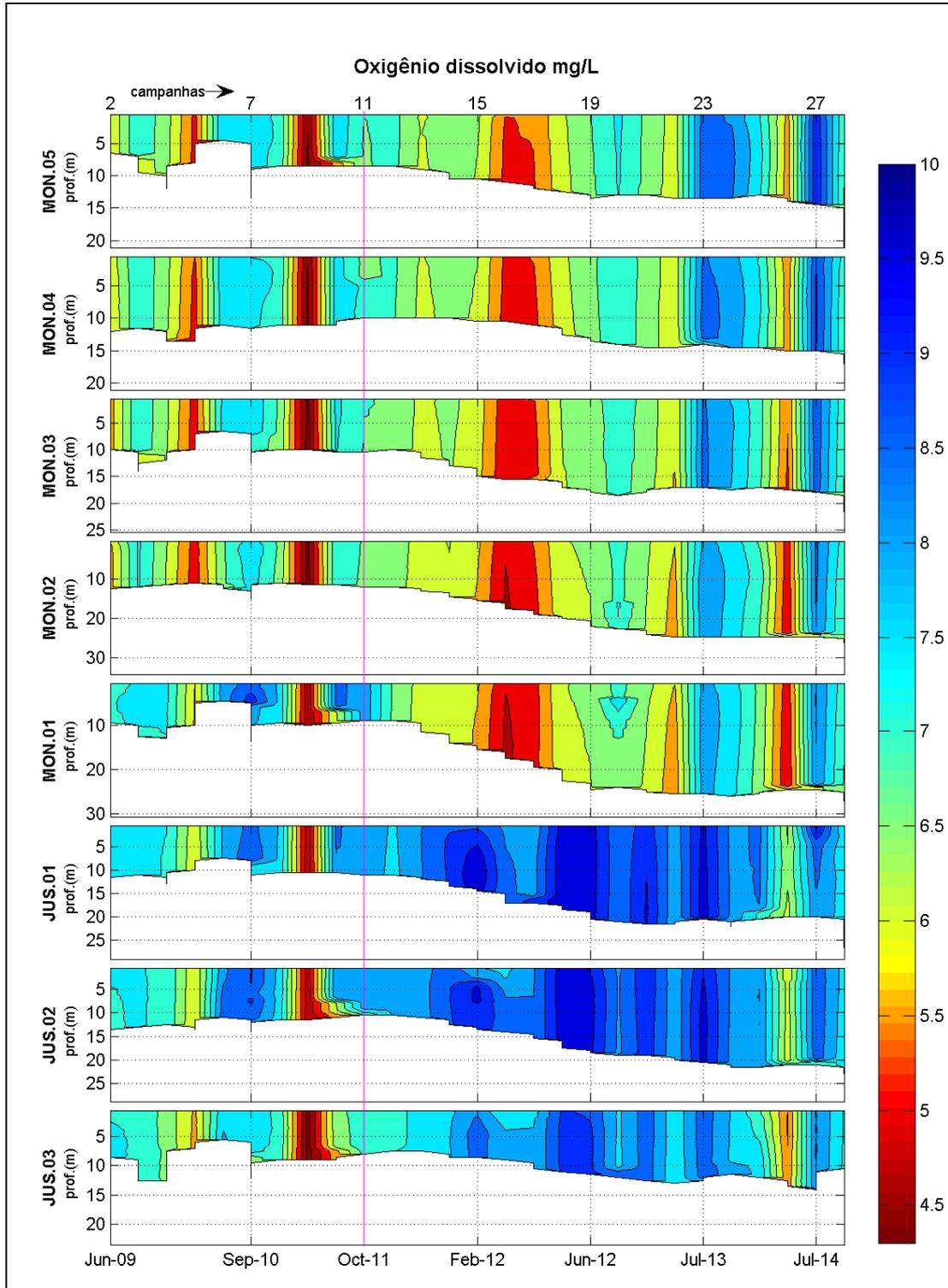
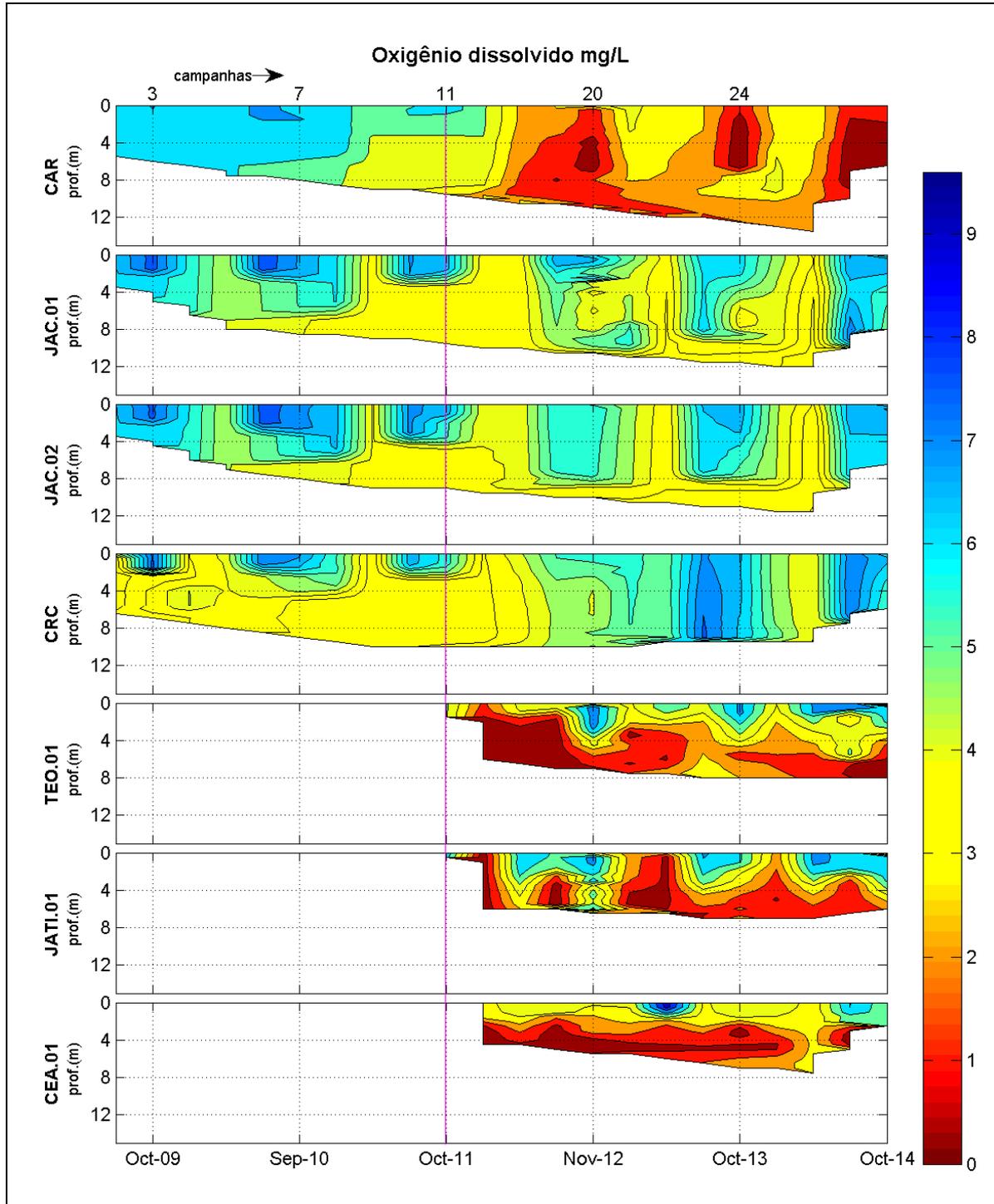


Figura 5-23 - Perfis de concentração de oxigênio dissolvido consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -  
Relatório 9 / Consolidado das fases de instalação e operação



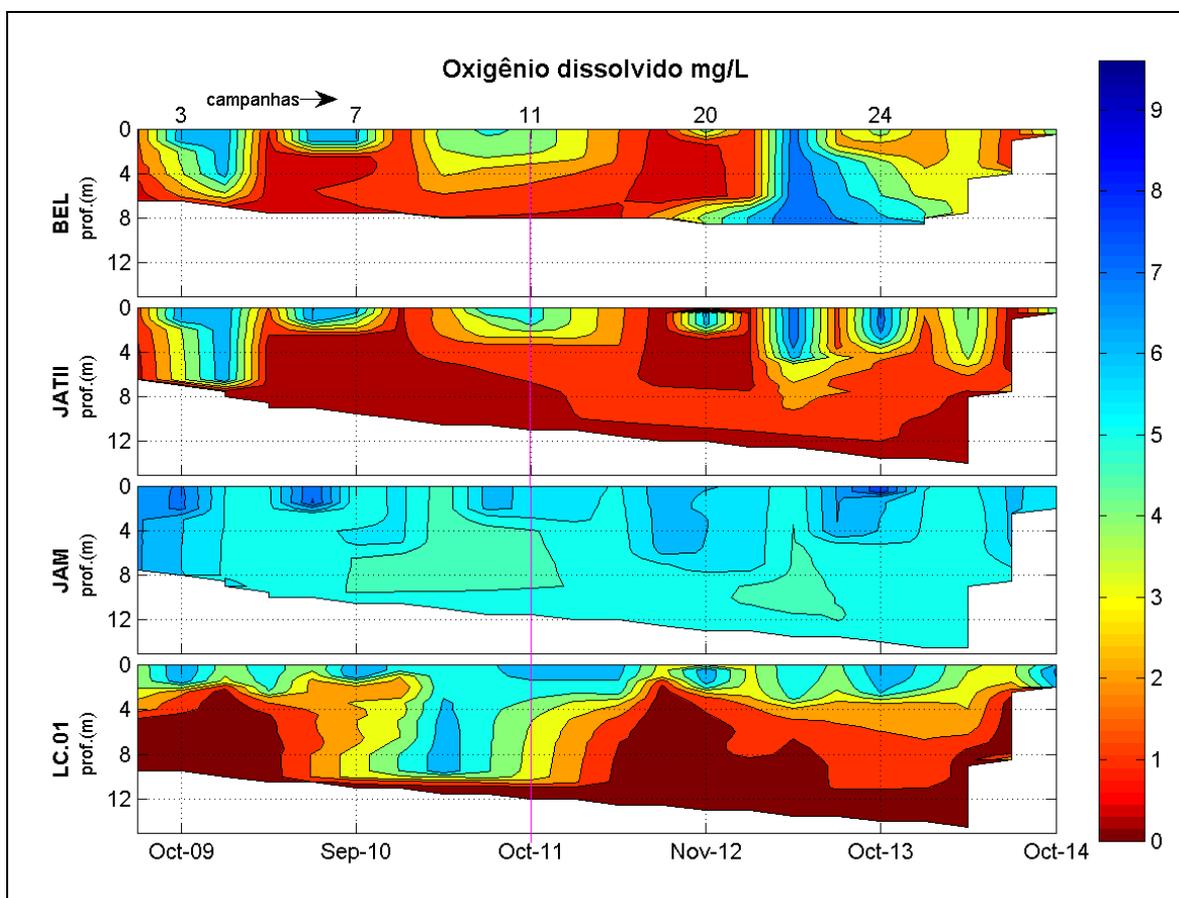


Figura 5-24 - Perfis de oxigênio nos tributários e no lago consolidados desde o início do pré-enchimento (junho de 2009 e outubro de 2014). A linha vermelha indica a formação do reservatório.

### 5.1.3.2 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO, nas estações do rio Madeira, oscilou entre  $0,8 \pm 0,3$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $0,44 \pm 0,2$  mg/L na enchente de 2014. Nos tributários a DBO variou entre e  $2,25 \pm 1,3$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $1,0 \pm 0,6$  mg/L nas águas baixas de 2014. No lago Cuniã, os valores oscilaram entre 3,8 mg/L na águas baixas de 2013 e 1,3 mg/L nas águas altas de 2014 (Figura 5-25). Nenhuma estação extrapolou o limite de 5 mg/L preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

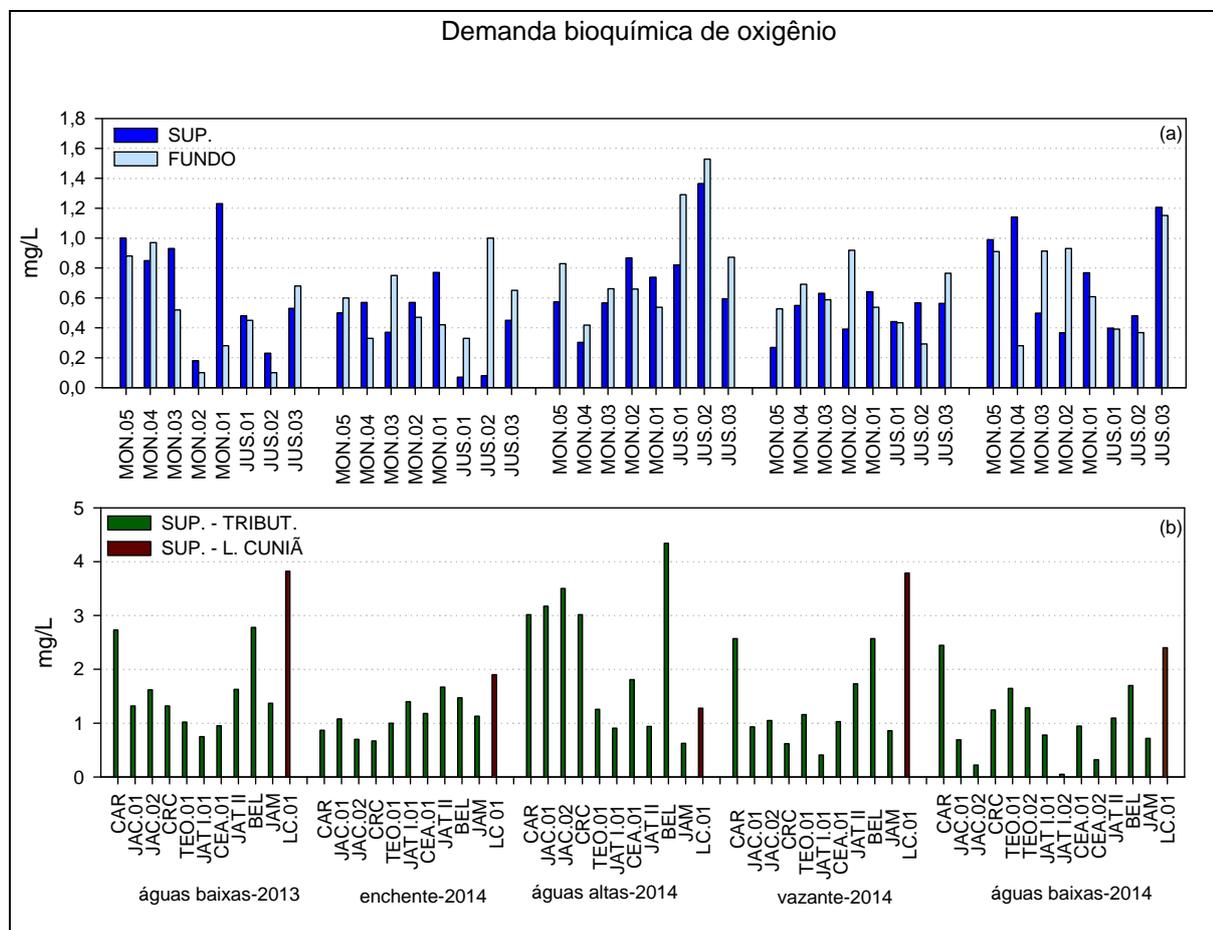


Figura 5-25 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

### 5.1.3.3 - Demanda química de oxigênio (DQO)

No rio Madeira, as médias de DBO variaram entre  $362 \pm 197$  mg/L na vazante de 2014 e  $40 \pm 1$  mg/L nas águas baixas de 2014. Nos tributários, oscilaram entre  $373 \pm 194$  mg/L na vazante de 2014 e  $29 \pm 1$  mg/L na enchente de 2014. Já no lago Cuniã a DQO teve variação entre 309 mg/L na vazante de 2014 e 28 mg/L na enchente do mesmo ano (Figura 5-26).

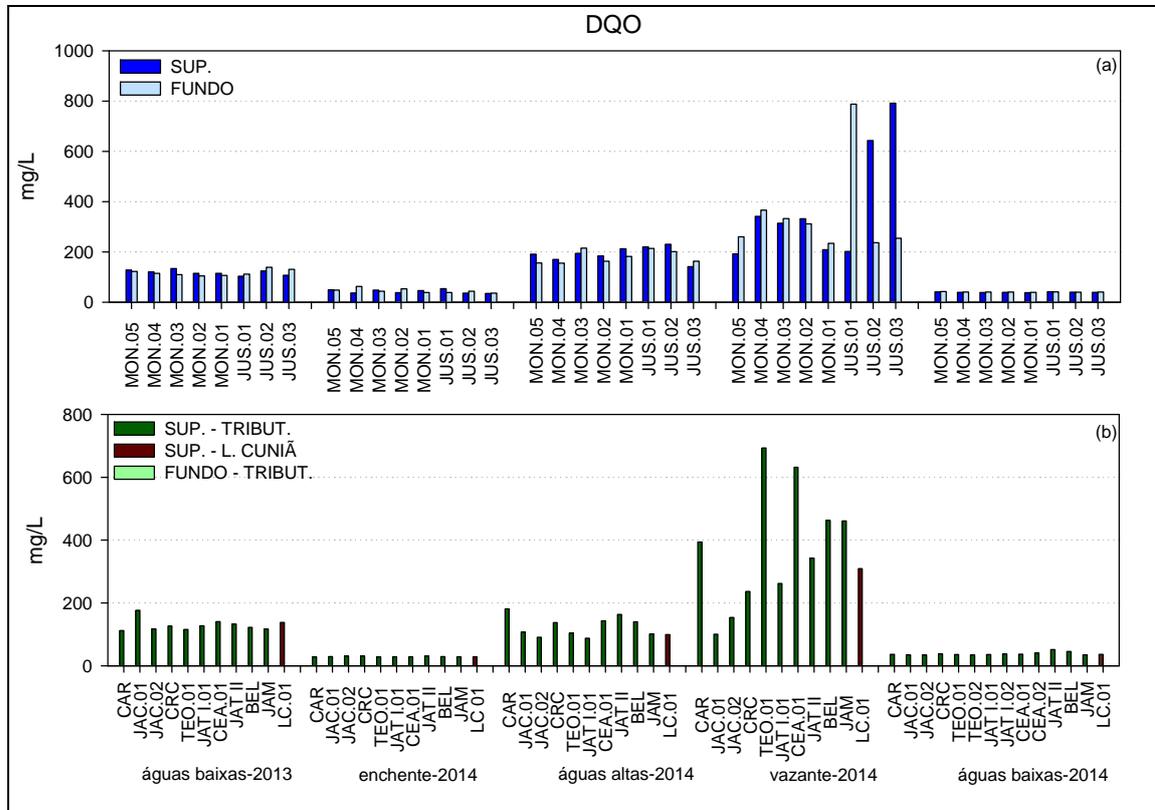


Figura 5-26 - Demanda química de oxigênio (DQO) no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

### 5.1.3.4 - Carbono

As concentrações médias de carbono inorgânico foram de  $8,3 \pm 0,3$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $1,11 \pm 0,04$  mg/L nas águas baixas de 2014 nas estações do rio Madeira e  $4,5 \pm 2,2$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $0,7 \pm 0,1$  mg/L nas águas baixas de 2014 nas estações dos tributários. No lago Cuniã o carbono inorgânico teve variação de 5,3 mg/L nas águas altas de 2014 e 0,4 mg/L nas águas baixas do mesmo ano (Figura 5-27).

As concentrações médias de carbono orgânico total no rio Madeira variaram entre  $6,8 \pm 0,5$  mg/L águas altas de 2014 e  $3,6 \pm 0,5$  mg/L nas águas baixas de 2013. Nos tributários, as concentrações oscilaram de  $5,4 \pm 2,4$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $2,7 \pm 0,9$  mg/L na vazante do mesmo ano. Já no lago Cuniã a média teve variação entre 3 mg/L águas baixas de 2014 e 6,8 mg/L nas águas altas de 2014 (Figura 5-28).

O carbono orgânico dissolvido compôs em média entre 95% nas águas altas de 2014 e 73% nas águas baixas de 2013 do carbono orgânico total no rio Madeira e 90% na vazante e 83% nas águas baixas de 2013 nos tributários (Figura 5-29). No rio Madeira, as médias oscilaram entre  $6,4 \pm 0,4$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $2,5 \pm 0,2$  mg/L nas águas baixas de 2013. Nos tributários, a oscilação das médias foi entre  $4,6 \pm 1,5$  mg/L nas águas altas 2014 e  $2,3 \pm 0,9$  mg/L na vazante do mesmo ano. No lago Cuniã as concentrações variaram entre 6,2 mg/L na enchente de 2014 e 2,8 mg/L nas águas baixas de 2014. Os valores registrados estiveram próximos à mediana dos lagos do mundo, especialmente no rio Madeira (5,71 mg/L; Sobek *et al.*, 2007). Existe uma grande sazonalidade nas concentrações de carbono orgânico em ecossistemas amazônicos - nas águas altas, as concentrações podem superar os 10 mg/L, como registrado em outras ocasiões durante esse monitoramento, ao passo que nas águas baixas os valores podem ficar abaixo dos 3 mg/L.

Em relação ao carbono total, as concentrações médias oscilaram entre  $12,0 \pm 1,1$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $5,4 \pm 0,4$  nas águas baixas de 2014. Já nos tributários o carbono total variou entre  $8,9 \pm 4,2$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $5,1 \pm 1,6$  mg/L nas águas baixas de 2014. No lago Cuniã as concentrações variaram entre 12,2 mg/L nas águas altas de 2014 e 3,3 mg/L nas águas baixas de 2014 (Figura 5-30).



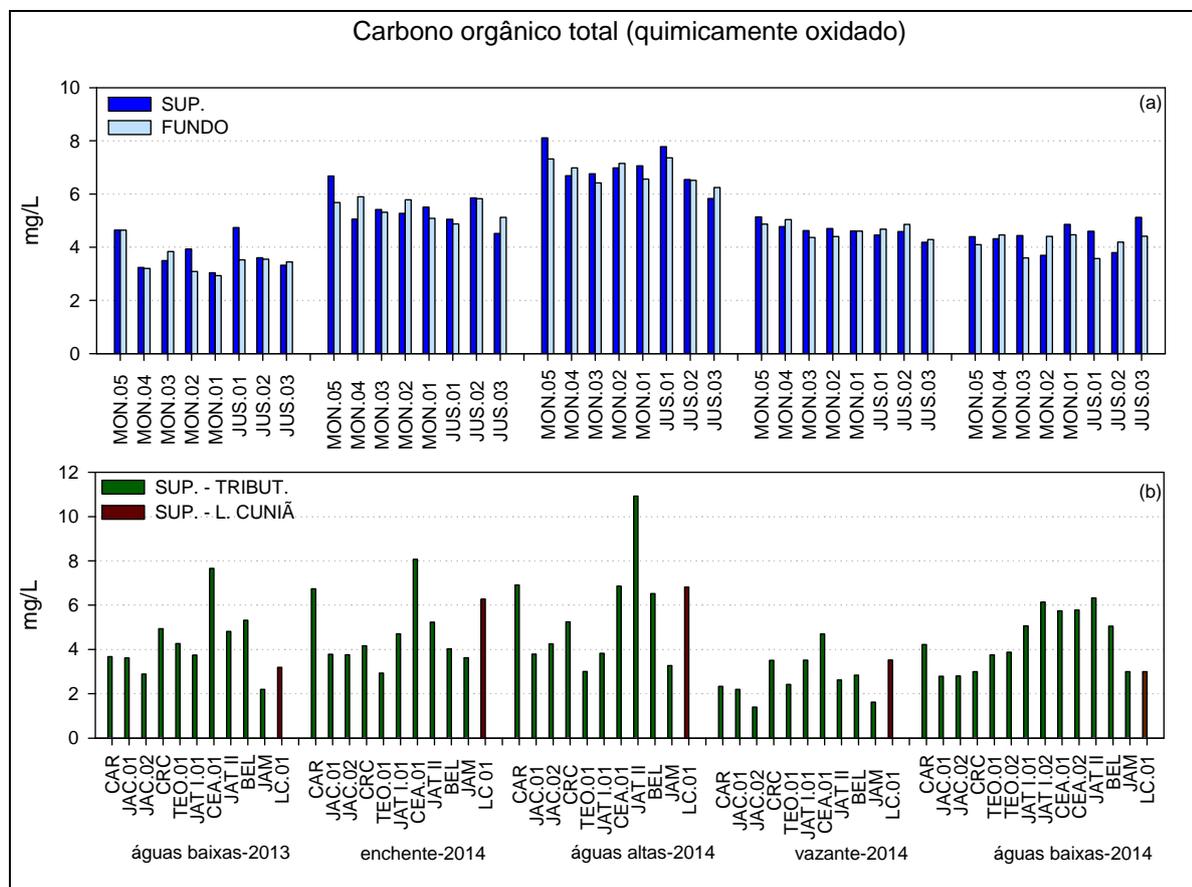


Figura 5-28 - Concentrações de carbono orgânico total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

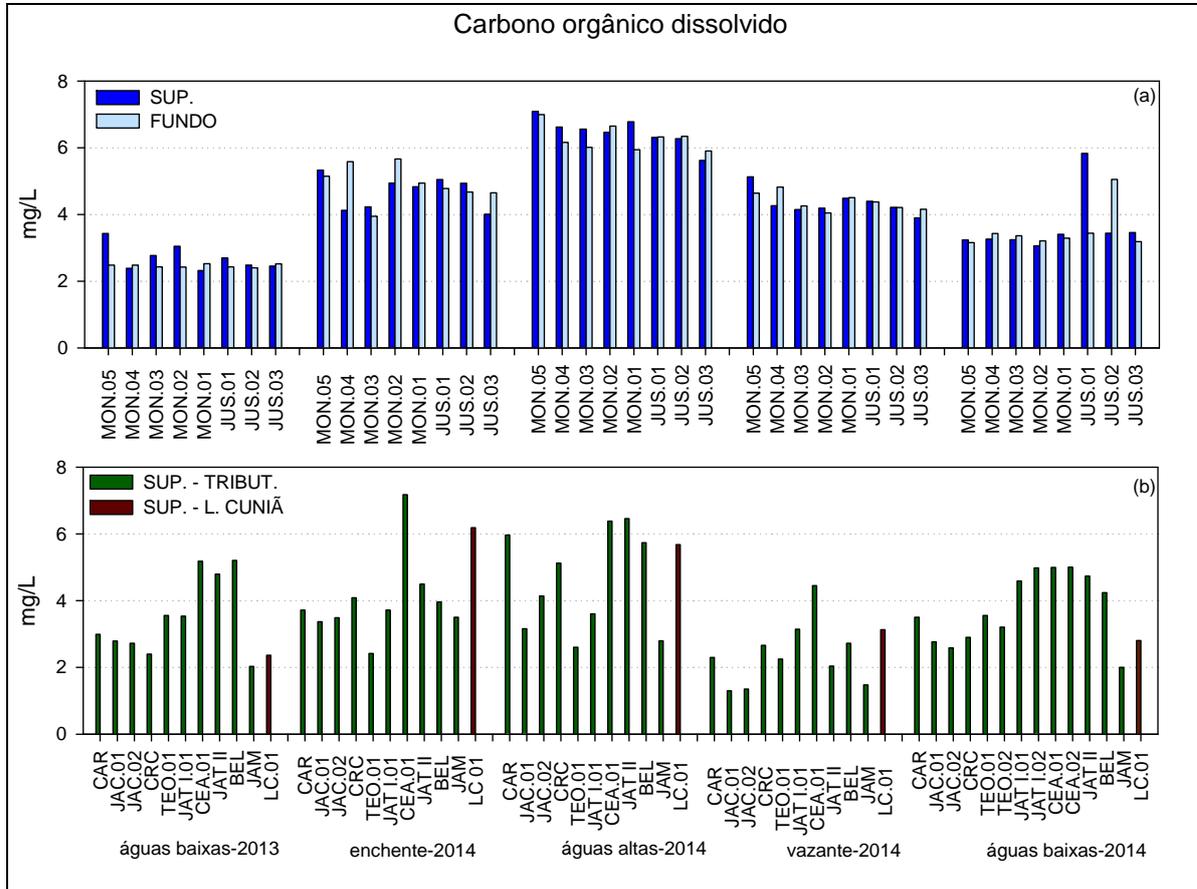


Figura 5-29 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

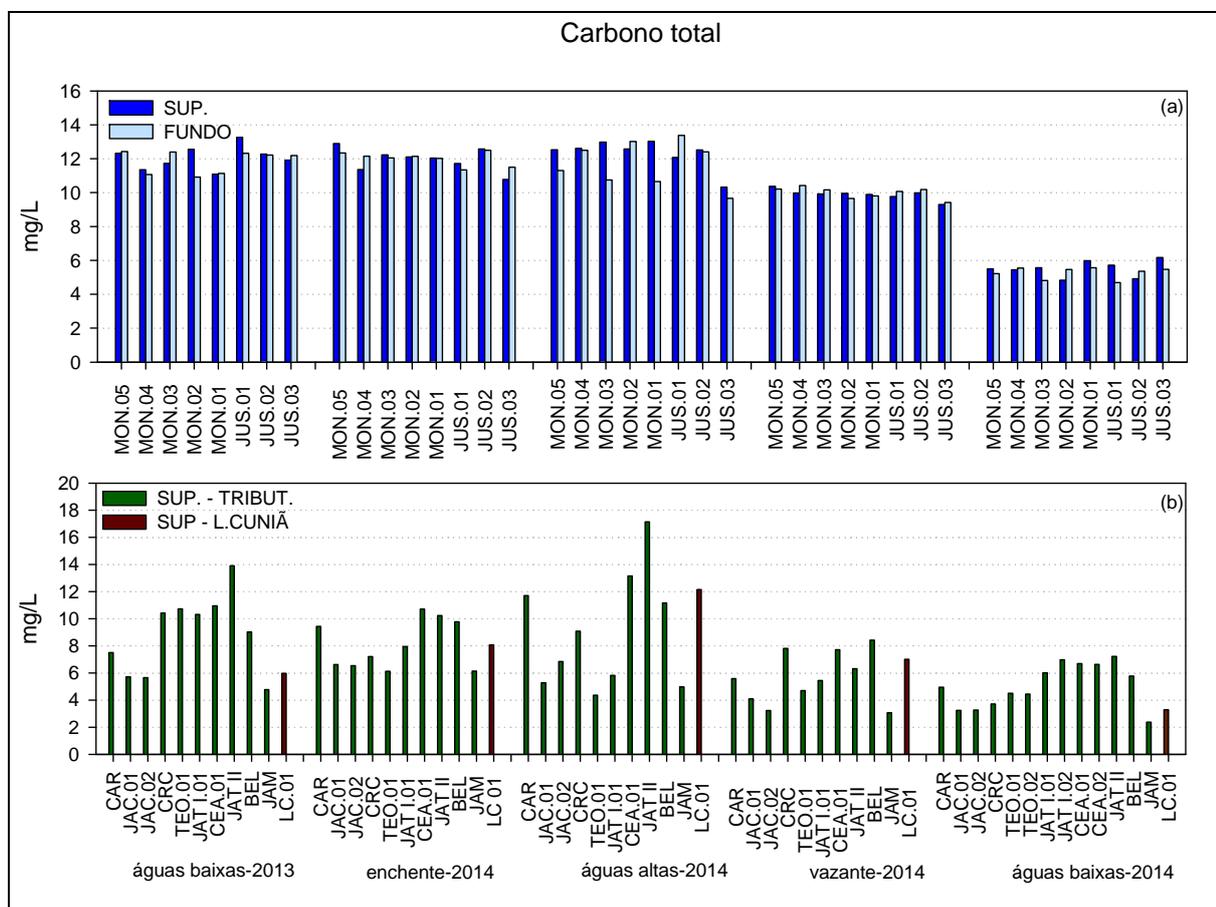


Figura 5-30 - Concentrações de carbono total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

## 5.1.4 - Química II

### 5.1.4.1 - Alcalinidade

A alcalinidade média variou entre  $46,2 \pm 2,7$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $23,7 \pm 4,1$  nas águas altas de 2014, no rio Madeira e  $14,9 \pm 9,4$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $11,2 \pm 6,7$  na enchente de 2014, nos tributários. No lago Cuniã os valores variaram entre  $< 0,1$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $14,8$  mg/L nas águas altas do mesmo ano (Figura 5-31). As principais substâncias responsáveis por conferir alcalinidade aos ecossistemas aquáticos são os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos. A distribuição entre as três formas ocorre em função do pH:  $4,4 < \text{pH} < 8,3$  (bicarbonatos);  $8,3 < \text{pH} < 9,4$  (carbonatos);  $\text{pH} > 9,4$  (hidróxidos e carbonatos).

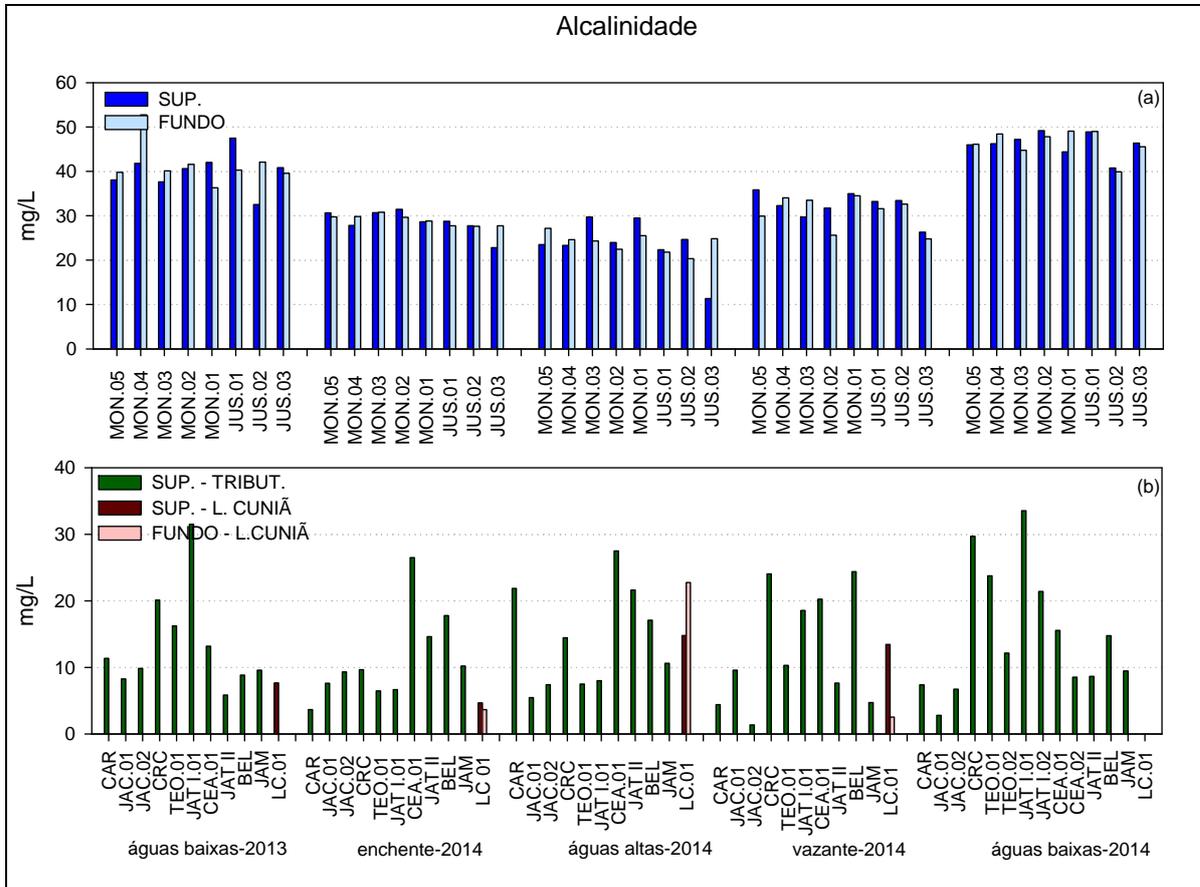


Figura 5-31 - Valores de alcalinidade no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

### 5.1.5 - Químicas III

#### 5.1.5.1 - Íons principais ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ )

A composição iônica de rios e lagos é regida pelos quatro principais cátions (cálcio, magnésio, sódio e potássio) e pelos quatro principais ânions (bicarbonato, carbonato, cloreto e sulfato) (Wetzel, 2001). Os ecossistemas de água doce são marcados por possuírem baixa concentração iônica. A precipitação atmosférica e a composição das rochas da bacia de drenagem são as principais variáveis que determinam a concentração iônica de ambientes aquáticos (Esteves, 1998). Segundo Esteves (1998), a principal fonte de íons para águas amazônicas é o intemperismo das rochas da cordilheira dos Andes, que por ser uma cadeia montanhosa recente, fornece grande quantidade de cátions e ânions.

As concentrações médias de sódio variaram de  $4,4 \pm 3,5$  mg/L nas águas baixas de 2014 a  $2,2 \pm 0,1$  mg/L nas águas altas do mesmo ano, no rio Madeira, e  $1,8 \pm 1,5$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $0,6 \pm 0,9$  mg/L na enchente de 2014, nos tributários. No lago Cuniã os valores tiveram variação de  $<0,001$  mg/L na enchente de 2014 e  $2,07$  mg/L águas altas de 2014 (Figura 5-32). As concentrações encontradas nos tributários foram geralmente mais baixas.

As concentrações médias de potássio foram de  $4,6 \pm 0,6$  mg/L na enchente de 2014 e  $1,5 \pm 0,9$  mg/L nas águas baixas de 2014, no rio Madeira e  $1,9 \pm 0,8$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $1,2 \pm 0,3$  mg/L nas águas baixas de 2013, nos tributários (Figura 5-33). A variação nas concentração de potássio do lago Cuniã foi entre  $2,3$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $0,6$  mg/L nas águas baixas do mesmo ano.

As concentrações médias de cálcio, cátion mais abundante na área de estudo, oscilaram entre  $9,4 \pm 0,9$  mg/L na enchente de 2014 e  $5,2 \pm 0,3$  mg/L nas águas altas de 2014, no rio Madeira e  $2,6 \pm 1,8$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $1,3 \pm 1,2$  mg/L na enchente do mesmo ano, nos tributários. Já no lago Cuniã os valores de cálcio variaram entre  $4$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $0,07$  mg/L nas águas baixas de 2014 (Figura 5-34).

As concentrações de magnésio foram de  $7,50 \pm 1,20$  mg/L na enchente de 2014 e  $2,47 \pm 0,26$  mg/L na vazante do mesmo ano, no rio Madeira e  $1,3 \pm 0,9$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $0,65 \pm 0,54$  mg/L na enchente de 2014, nos tributários. No lago Cuniã esses valores variaram entre  $1,9$  mg/L nas águas altas de 2014 e  $0,19$  mg/L nas águas baixas de 2014 (Figura 5-35). As concentrações de todos os cátions foram maiores no rio Madeira, o que é esperado, tendo em vista a origem andina desse rio. Nos tributários, a variação espacial foi bem maior que no Madeira. A estação do lago Cuniã apresentou concentrações catiônicas geralmente mais baixas, como os tributários.

A variação das concentrações médias de cloreto foram de  $0,6 \pm 0,5$  mg/L nas enchente de 2014 e  $1,4 \pm 0,1$  mg/L nas águas baixas de 2014, no rio Madeira. Nos tributários, a variação foi entre menor que o LQ ( $0,5$  mg/L) em todas as estações nas águas altas de 2014 e  $1,2 \pm 0,6$  mg/L nas águas baixas de 2014. Já no lago Cuniã houve variação de  $0,5$  mg/L (LQ), valor que foi registrado em três das cinco campanhas feitas, enchente, águas altas e vazante a  $0,9$  mg/L nas águas baixas de 2013 (Figura 5-36).

No rio Madeira, o sulfato apresentou média que variou de  $17,0 \pm 1,0$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $4,8 \pm 0,5$  mg/L nas águas altas do mesmo ano. Nos tributários, as médias oscilaram entre  $6,8 \pm 13,7$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $1,2 \pm 1,1$  na enchente de 2014. No lago Cuniã o sulfato teve variação entre 3,2 mg/L nas águas altas de 2014 e  $<5$  mg/L nas águas baixas de 2013 e na enchente de 2014 (Figura 5-37).

As concentrações médias de bicarbonatos variaram entre  $23,7 \pm 1,4$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $7,5 \pm 0,8$  mg/L na vazante do mesmo ano. Nos tributários esses valores oscilaram entre  $7,7 \pm 4,8$  mg/L nas águas baixas de 2014 e  $3 \pm 2$  mg/L na vazante de 2014. No lago Cuniã as médias oscilaram entre 0,1 mg/L nas águas baixas de 2014 e 3,9 mg/L nas águas baixas de 2013 (Figura 5-28).

Todos os íons amostrados apresentaram concentrações abaixo dos seus respectivos limites para corpos de água doce da classe 2 preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005.

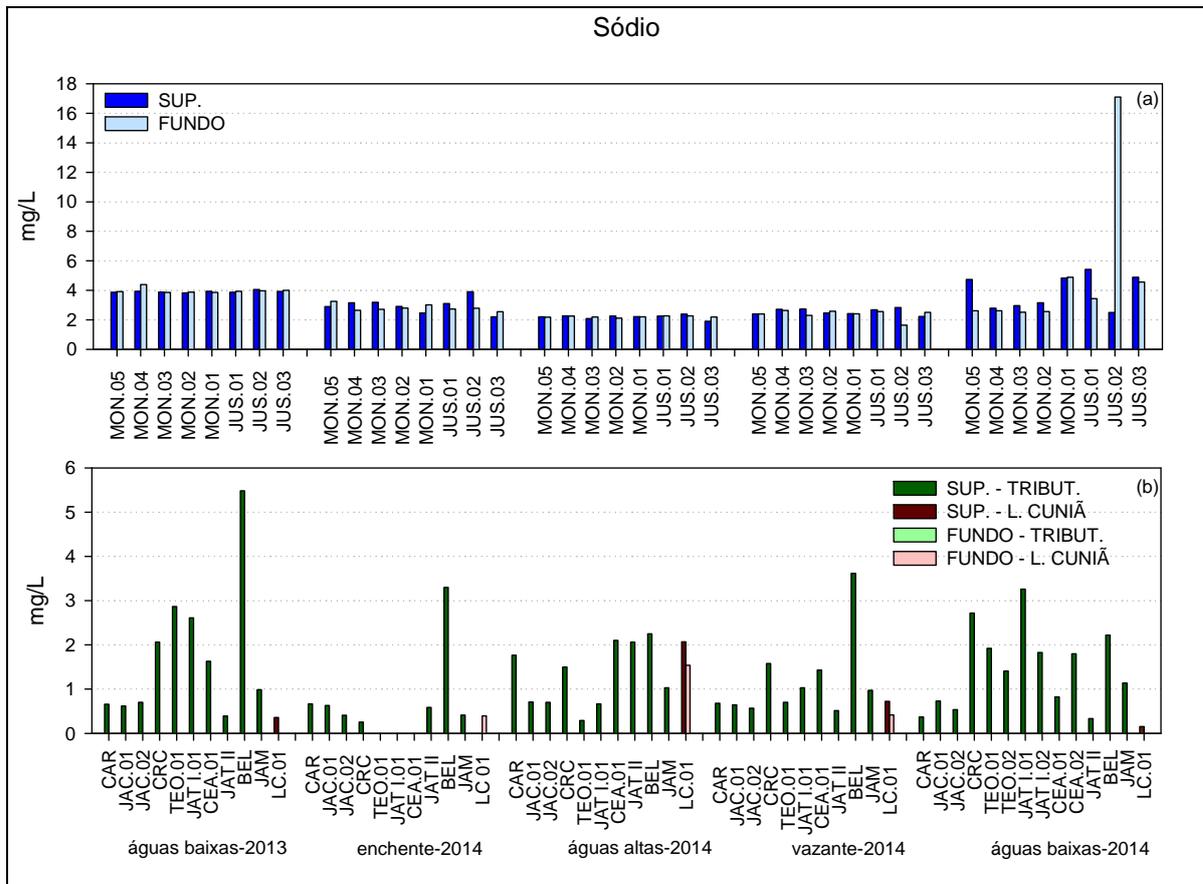


Figura 5-32 - Concentrações de sódio no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

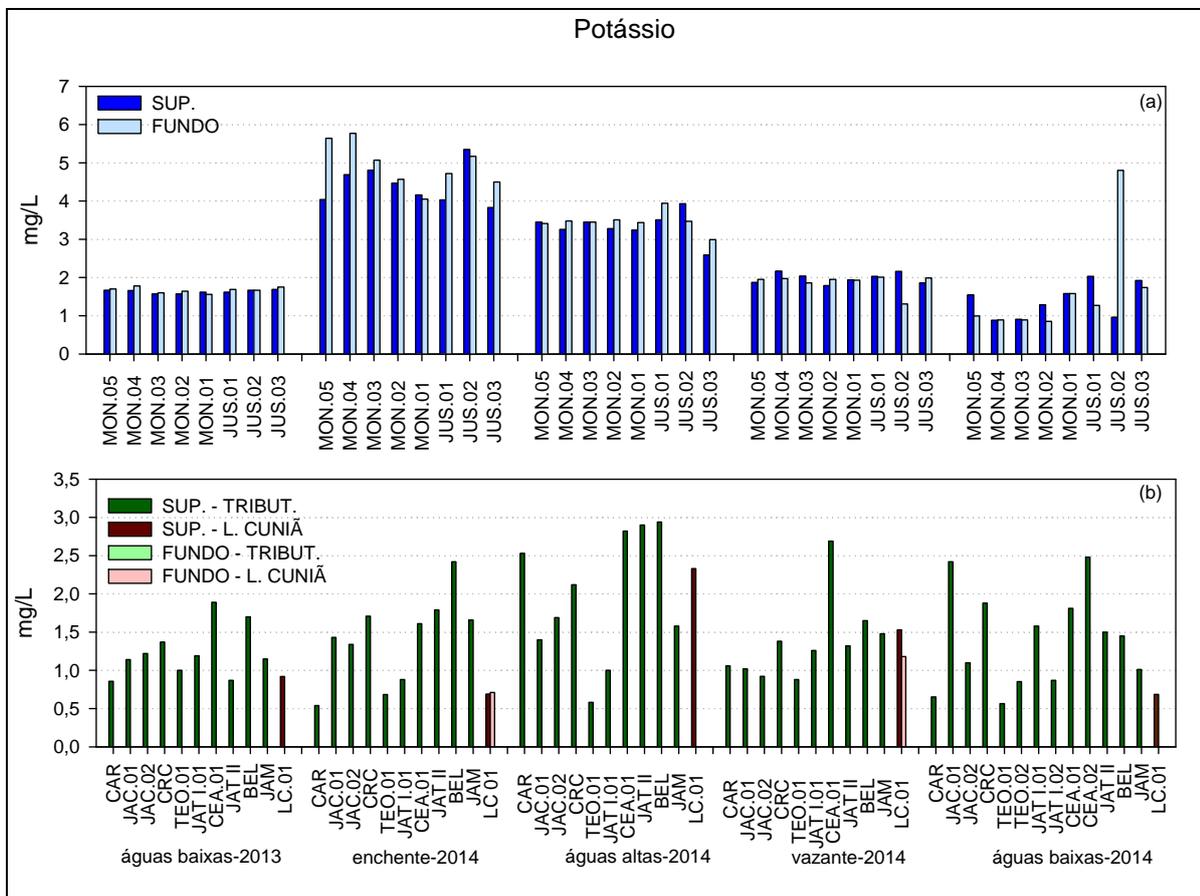


Figura 5-33 - Concentrações de potássio no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

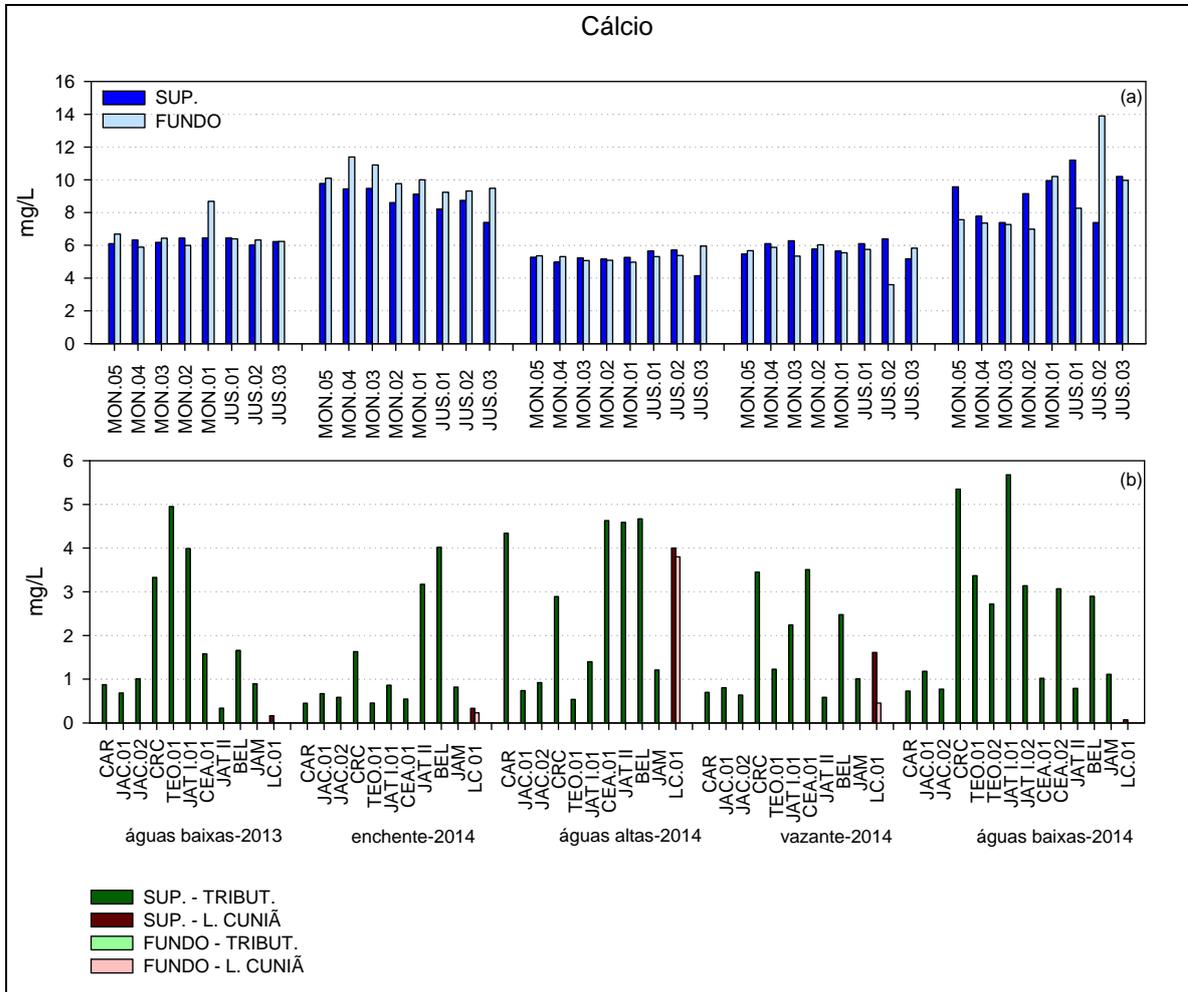


Figura 5-34 - Concentrações de cálcio no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

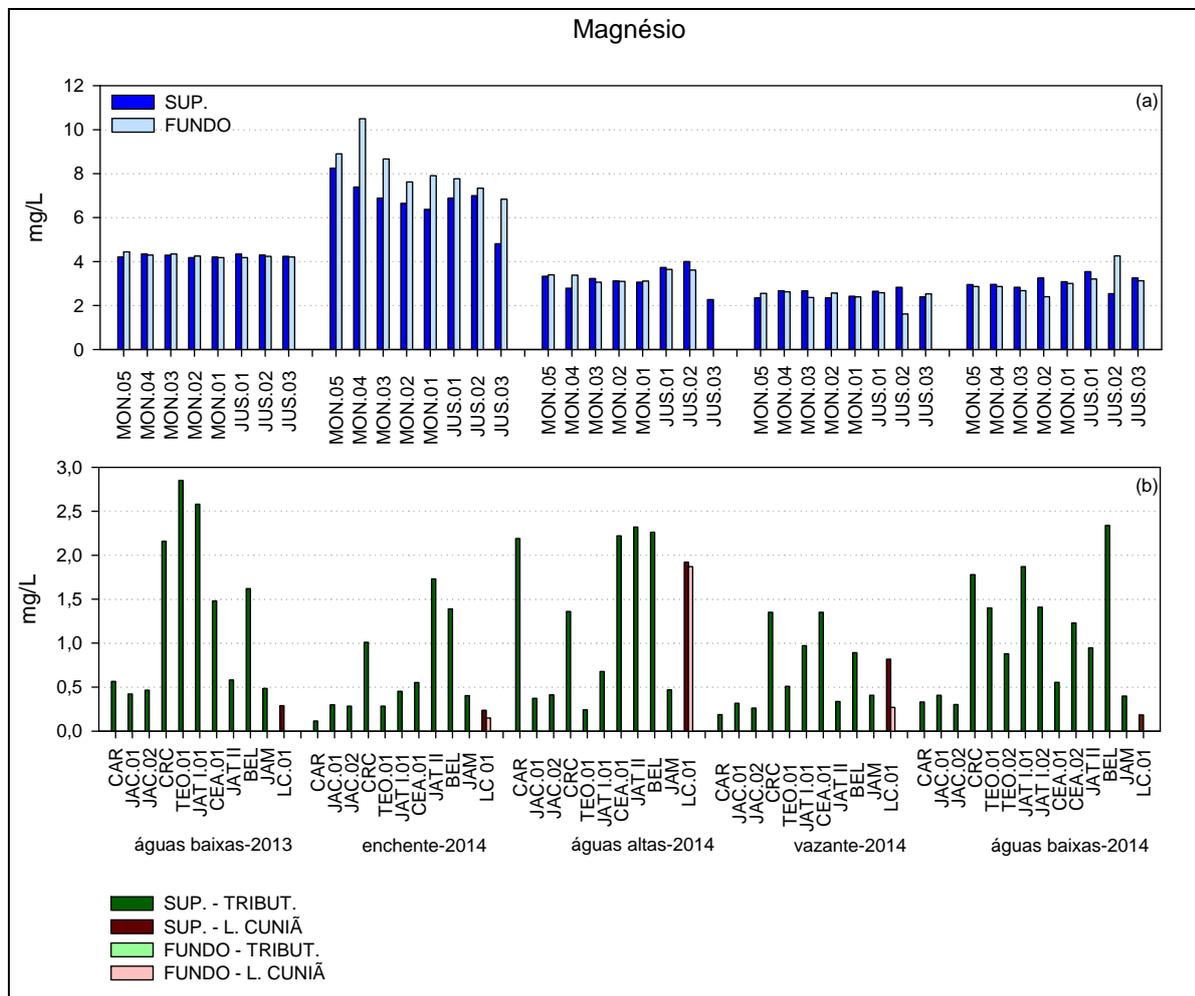


Figura 5-35 - Concentrações de magnésio no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

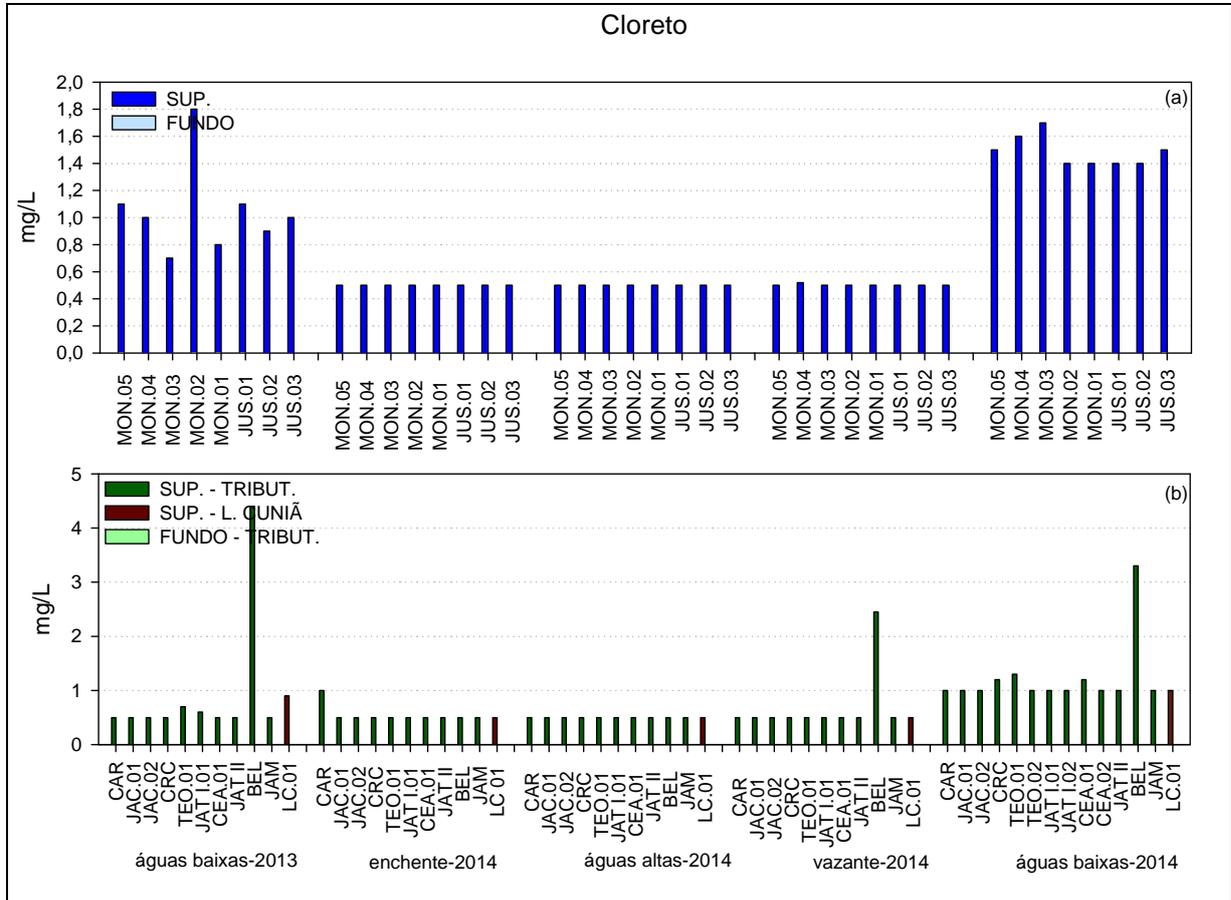


Figura 5-36 - Concentrações de cloreto no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

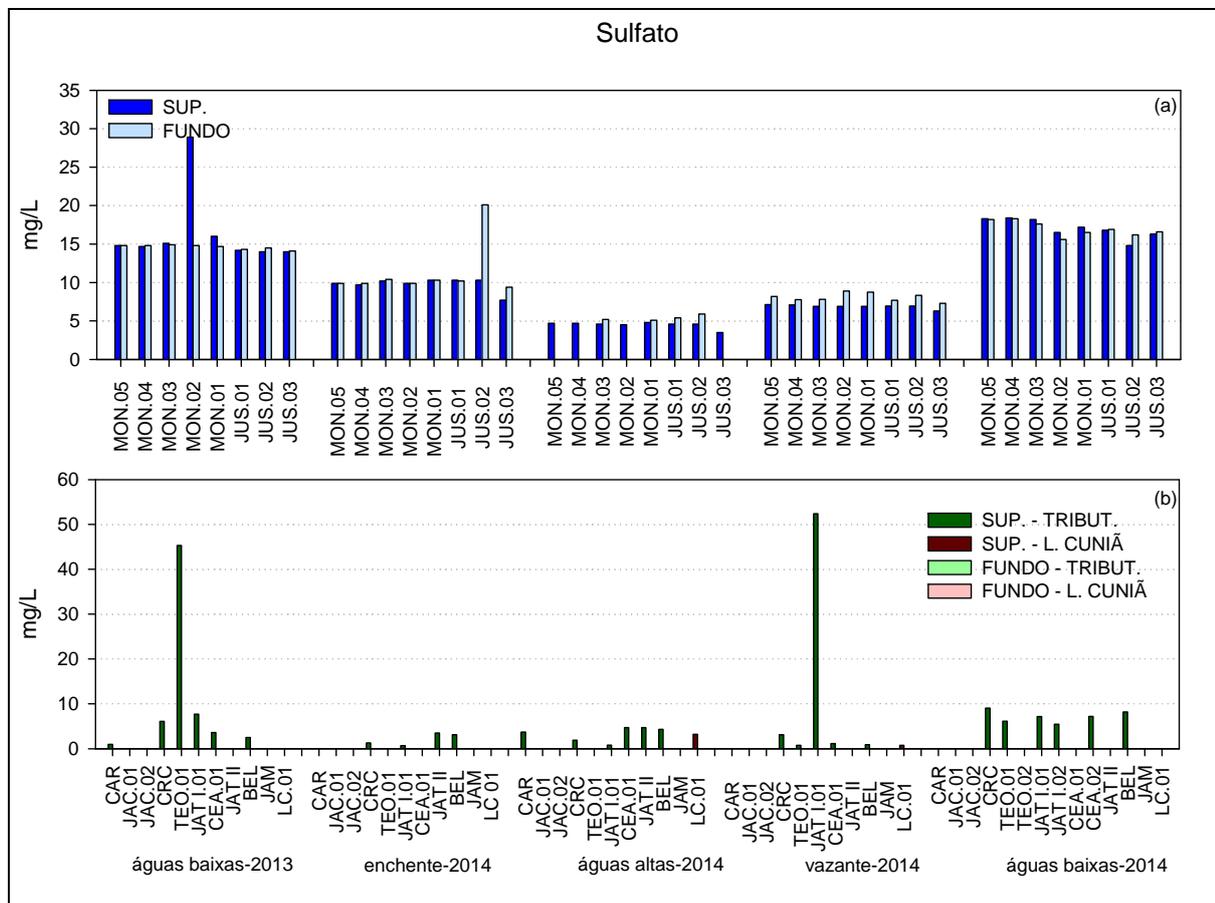


Figura 5-37 - Concentrações de sulfato no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

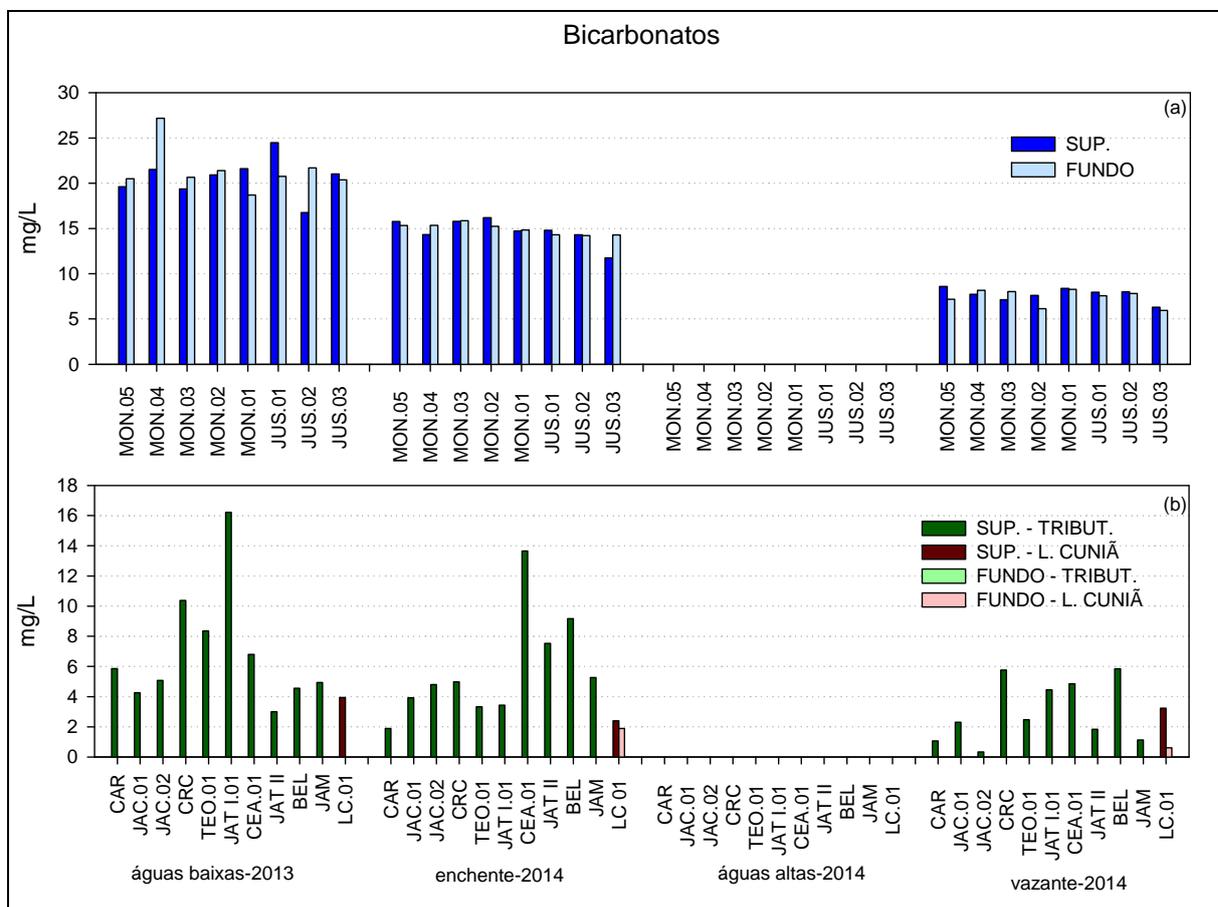


Figura 5-38 - Concentrações de bicarbonato no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

## 5.1.6 - Químicas IV

### 5.1.6.1 - Nitrogênio

Em todas as estações amostradas, o nitrato foi a fração inorgânica de nitrogênio mais abundante, o que era esperado considerando a boa oxigenação geralmente encontrada. No rio Madeira, as médias de nitrato variaram entre  $1960 \pm 92 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $421 \pm 108 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013. Nos tributários, o nitrato oscilou entre  $1349 \pm 559 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $543 \pm 179,3 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013. No lago Cuniã, as concentrações oscilaram entre  $1873 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $461 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013 (Figura 5-39). Os tributários e o lago Cuniã apresentaram teores inferiores. As concentrações de nitrato ficaram abaixo do limite máximo estabelecido para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações médias de nitrogênio amoniacal variaram de  $120,5 \pm 24,5$  µg/L nas águas altas de 2014 e  $9,9 \pm 1,4$  µg/L nas águas baixas de 2013, no rio Madeira, e  $121,1 \pm 34,3$  µg/L nas águas altas de 2014 a  $10,6 \pm 2,9$  µg/L nas águas baixas de 2013 nos tributários. No lago Cuniã, as concentrações oscilaram entre  $126,4$  µg/L na águas altas de 2014 e  $12,4$  µg/L nas águas baixas de 2013 (Figura 5-40). As concentrações foram semelhantes em todos os sistemas, exceto para o período de águas altas de 2014, onde foram registrados valores superiores. Entretanto, as concentrações de nitrogênio amoniacal foram inferiores ao limite máximo estabelecido para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações de nitrito foram baixas em todos ambientes amostrados. As médias variaram de  $1,7 \pm 0,4$  µg/L nas águas baixas de 2013 a  $7,9 \pm 4,4$  µg/L na enchente de 2014, no rio Madeira. Nos tributários, as médias variaram de  $1,4 \pm 0,4$  µg/L nas águas baixas de 2013 a  $6,5 \pm 1,0$  µg/L nas águas altas de 2014. No lago Cuniã, as concentrações oscilaram entre  $4,8$  µg/L na enchente de 2014 e  $0,96$  µg/L nas águas baixas de 2013 (Figura 5-41). As concentrações de nitrito foram inferiores ao limite máximo estabelecido para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

O nitrogênio total, nas estações do rio Madeira, oscilou entre  $5431 \pm 1234$  µg/L na enchente de 2014 e  $1012 \pm 3108$  µg/L nas águas baixas de 2013. Nos tributários o nitrogênio total variou entre  $2133 \pm 640$  µg/L nas águas altas de 2014 e  $912 \pm 251$  µg/L nas águas baixas de 2013. Já no lago Cuniã, a oscilação foi entre  $813$  µg/L nas águas baixas de 2014 a  $2125$  µg/L nas águas altas de 2014 (Figura 5-42).

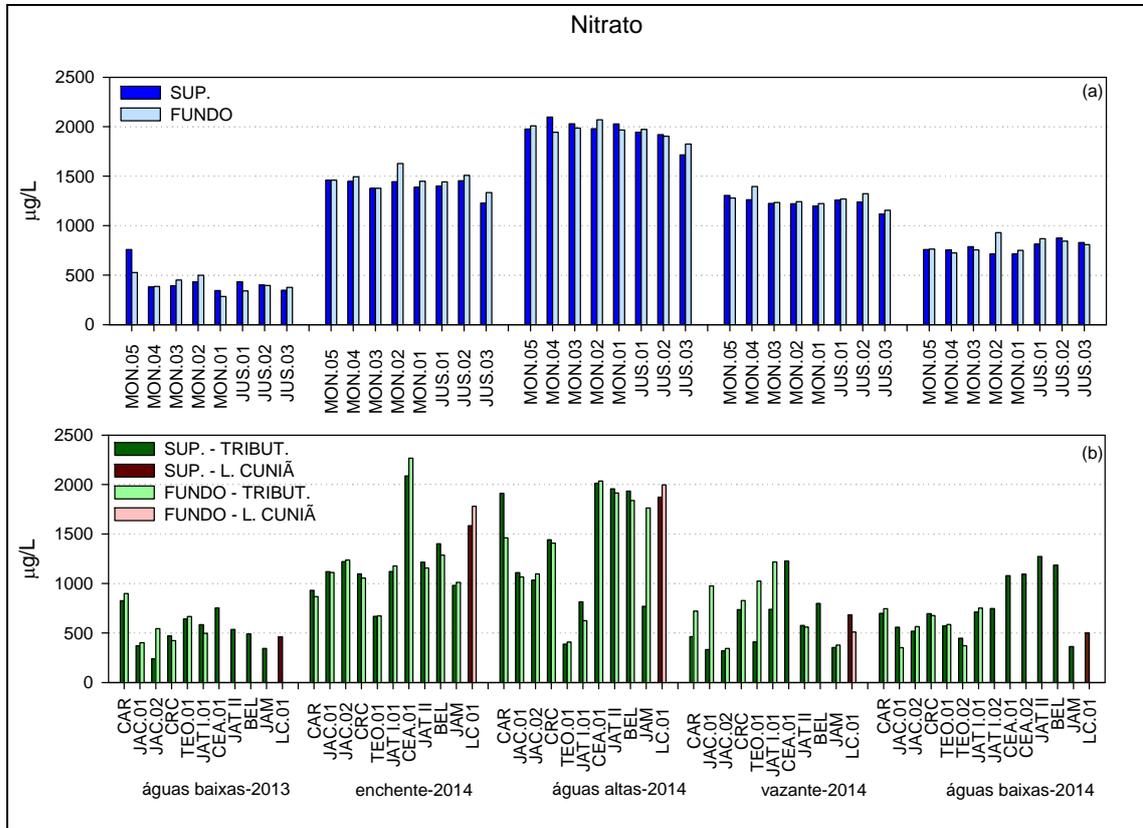


Figura 5-39 - Concentrações de nitrato no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

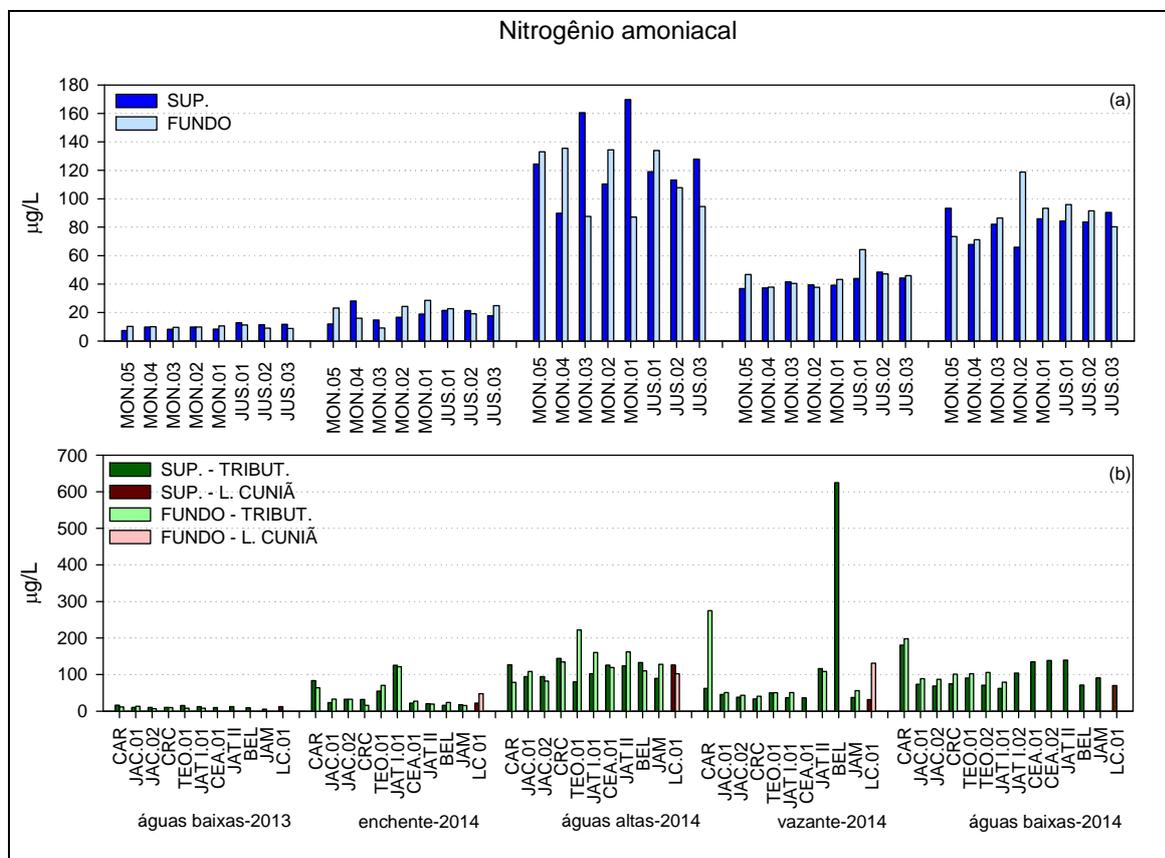


Figura 5-40 - Concentrações de nitrogênio amoniacal no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

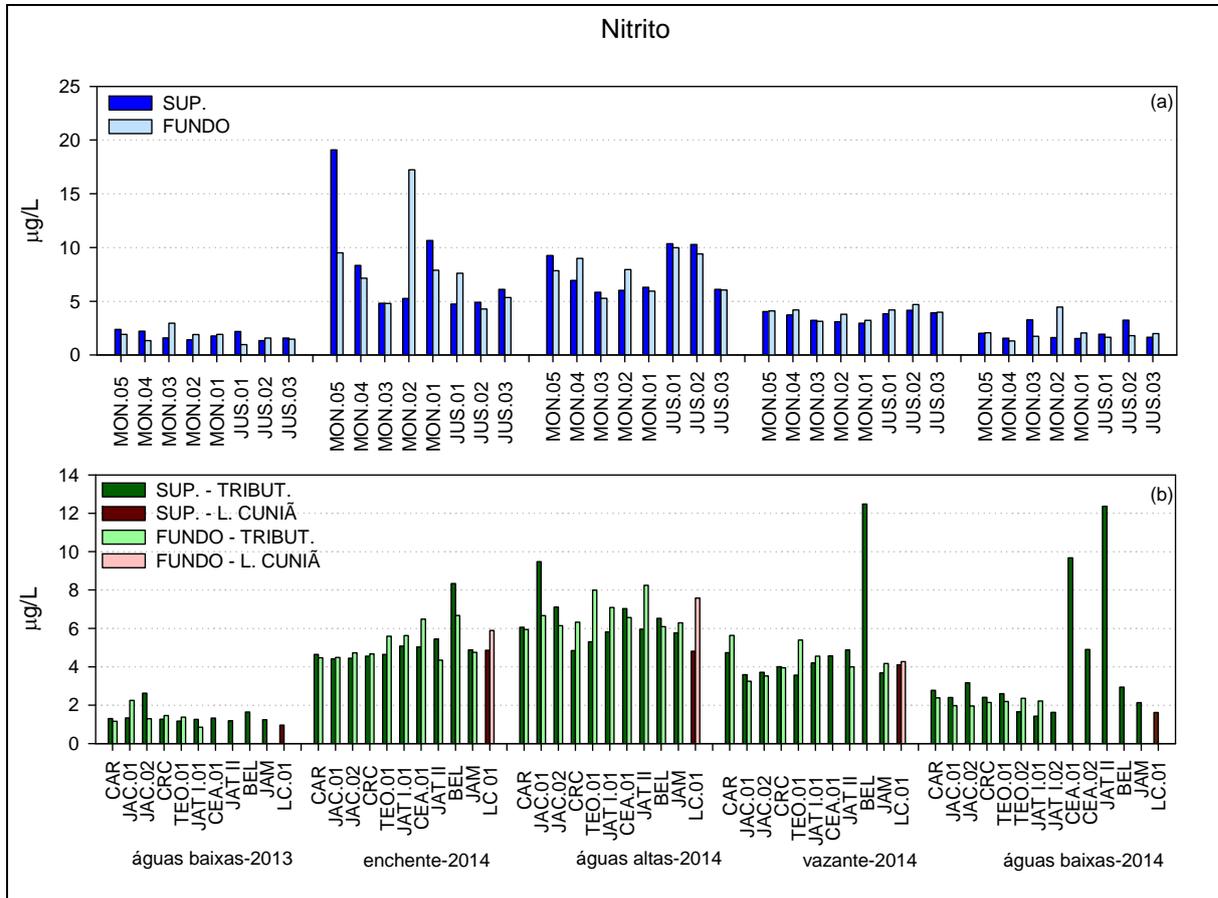


Figura 5-41 - Concentrações de nitrito no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

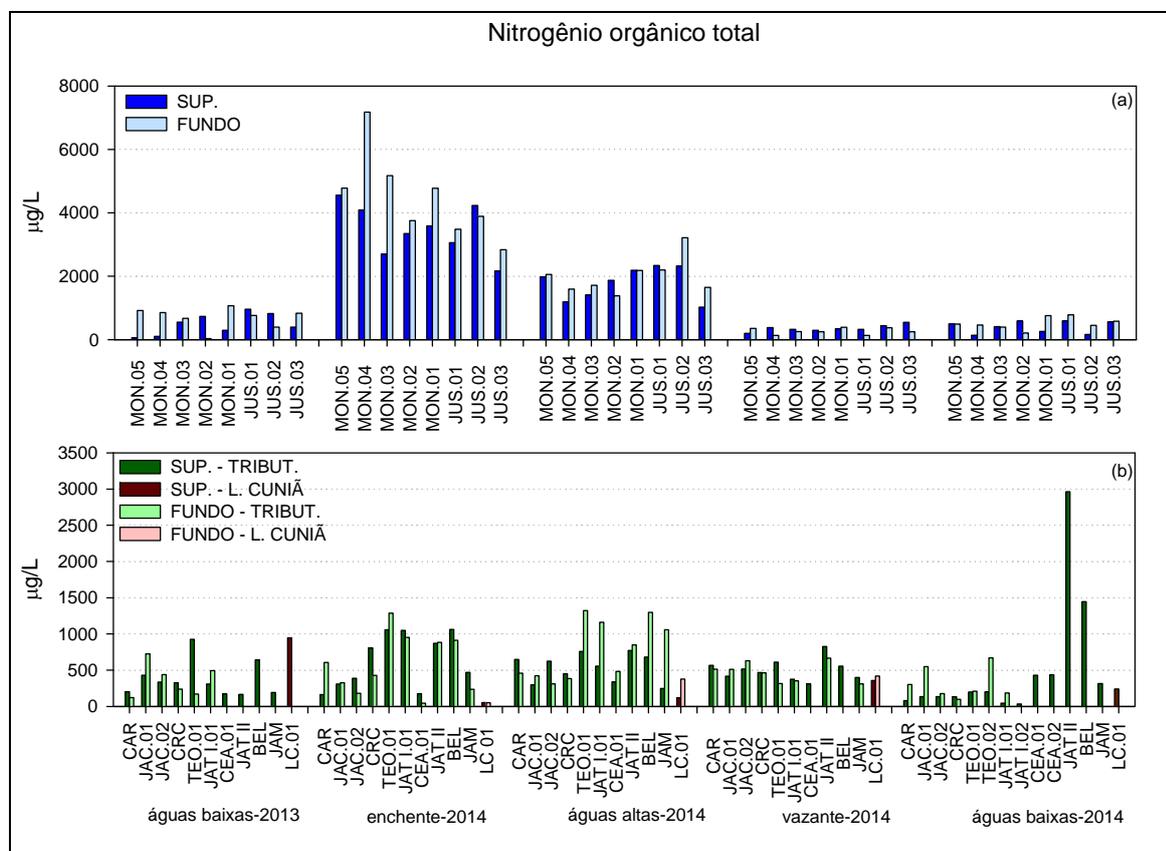


Figura 5-42 - Concentrações de nitrogênio total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

### 5.1.6.2 - Fósforo

O ortofosfato, fração de fósforo mais importante do ponto de vista ecológico, teve variação de  $41 \pm 23 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $11 \pm 2 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013 no rio Madeira, e  $29 \pm 8 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $3,1 \pm 3,2 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014 nos tributários (Figura 5-43). No lago Cuniã as concentrações de ortofosfato variaram entre  $26 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $2,7 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas do mesmo ano

O fósforo total dissolvido, no rio Madeira, oscilou entre  $53,3 \pm 20,9 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $29,8 \pm 9,8 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013. Nos tributários as médias de fósforo total dissolvido foram de  $43 \pm 11,2 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $14,9 \pm 8,9 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013 (Figura 5-44). Já no lago Cuniã as concentrações variaram de  $42,8 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 a  $1,8 \mu\text{g/L}$  águas baixas 2013.

No rio Madeira, o fósforo particulado foi a fração predominante do fósforo total (76%), ao passo que nos tributários e no lago Cuniã houve equivalência entre as frações (~50% para cada). O fósforo particulado, no rio Madeira, oscilou entre  $457 \pm 121 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014 e  $104,6 \pm 24,3 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014. Nos tributários as médias de fósforo particulado foram de  $86,5 \pm 176,5 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014 e  $25 \pm 24 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014. No lago Cuniã, as concentrações tiveram variação entre  $38 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014 e  $5,4 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013 (Figura 5-45).

O fósforo total, no rio Madeira, oscilou entre  $489,6 \pm 121,6 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014 e  $91,5 \pm 28,1 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014. Nos tributários as médias de fósforo total foram de  $111,7 \pm 176,3 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014 e  $49,7 \pm 55,9 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013 (Figura 5-46). No lago Cuniã, as concentrações foram próximas às dos tributários, e menores do que no Madeira, com oscilação entre  $7 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013 e  $57 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014. Todas as estações do rio Madeira e algumas dos tributários apresentaram concentrações de fósforo total maior que  $100 \mu\text{g/L}$ , que é o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005 para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários. Essa é uma condição natural do rio Madeira, que é muito rico em fósforo (Almeida, 2013).

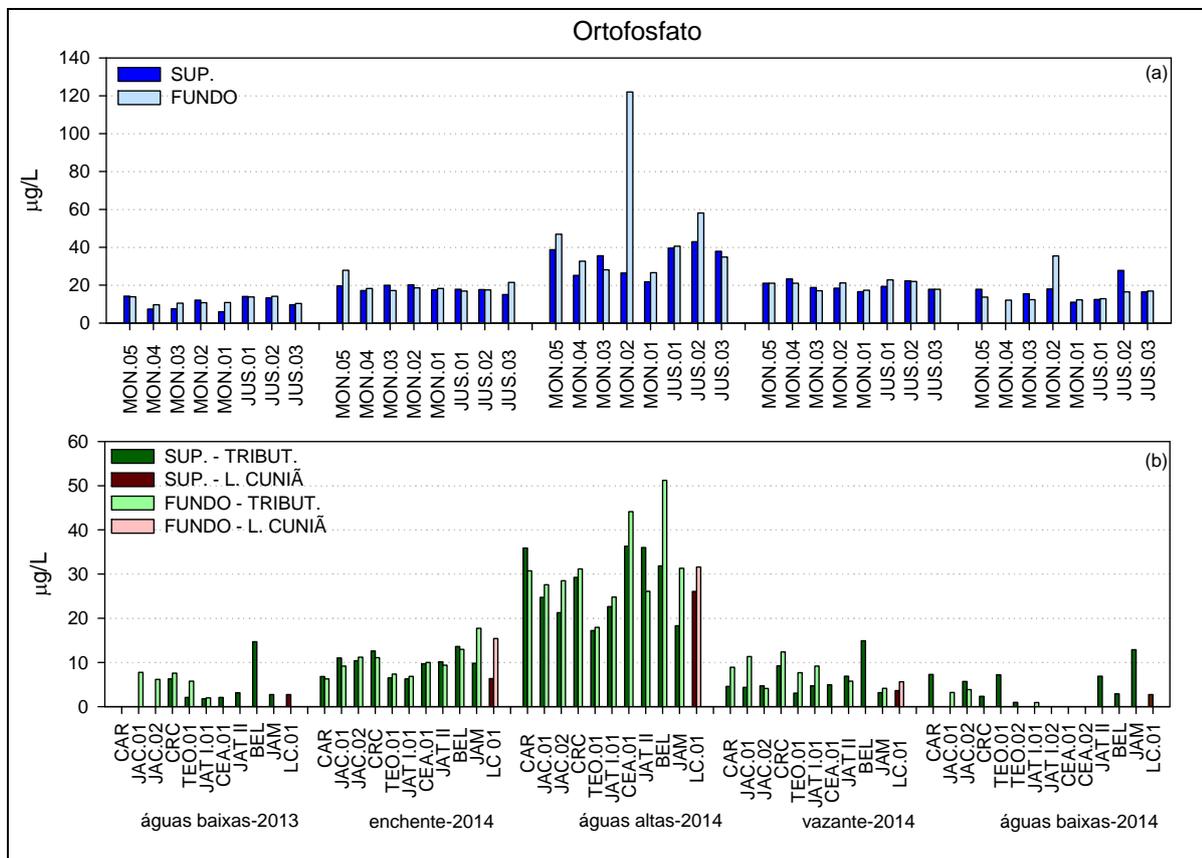


Figura 5-43 - Concentrações de ortofosfato no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

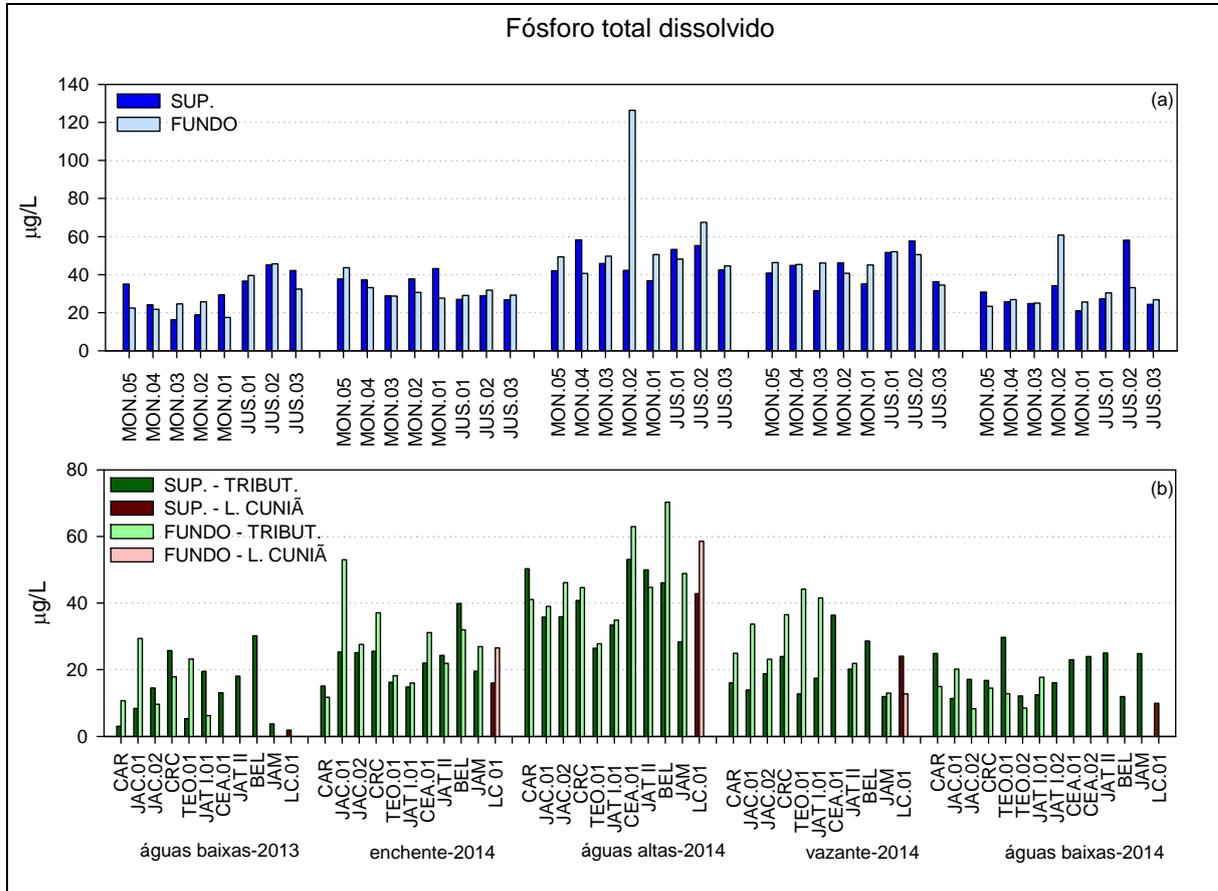


Figura 5-44 - Concentrações de fósforo total dissolvido no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

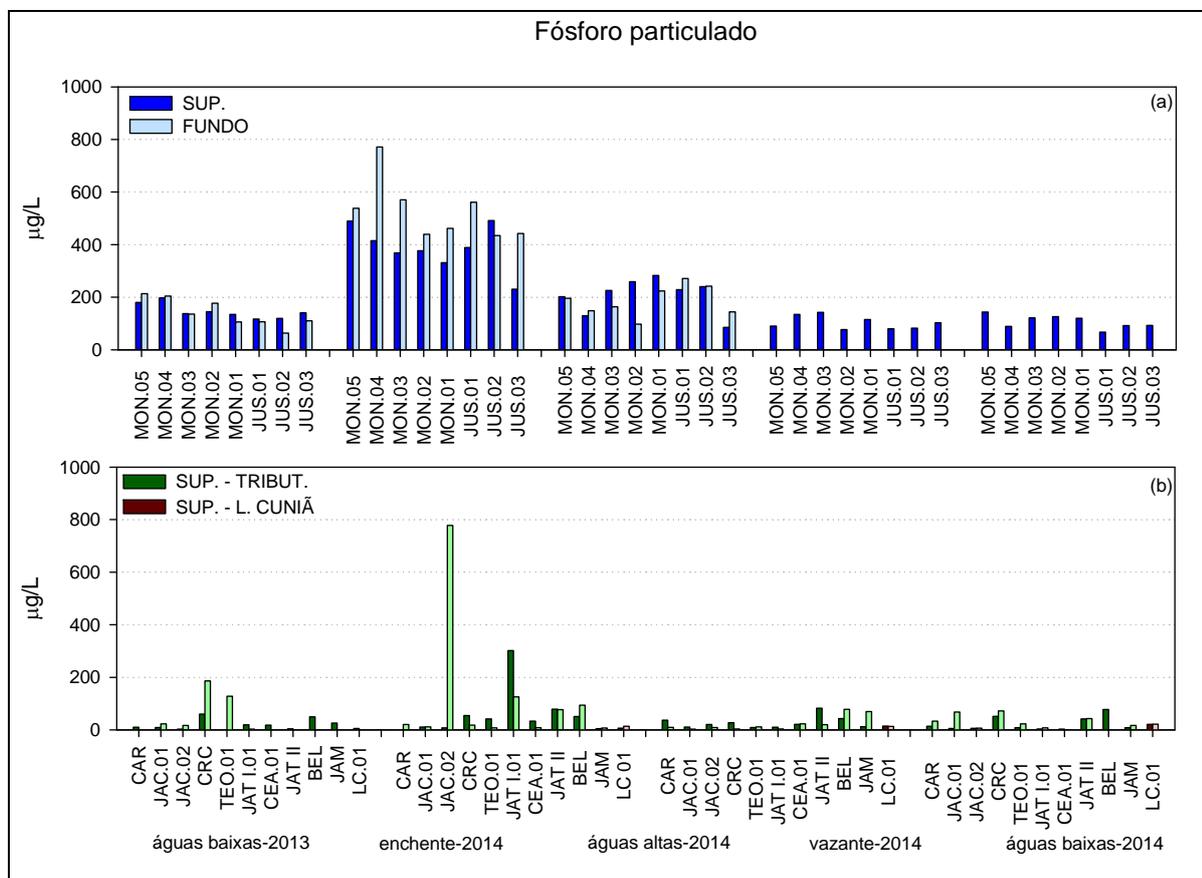


Figura 5-45 - Concentrações de fósforo particulado no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

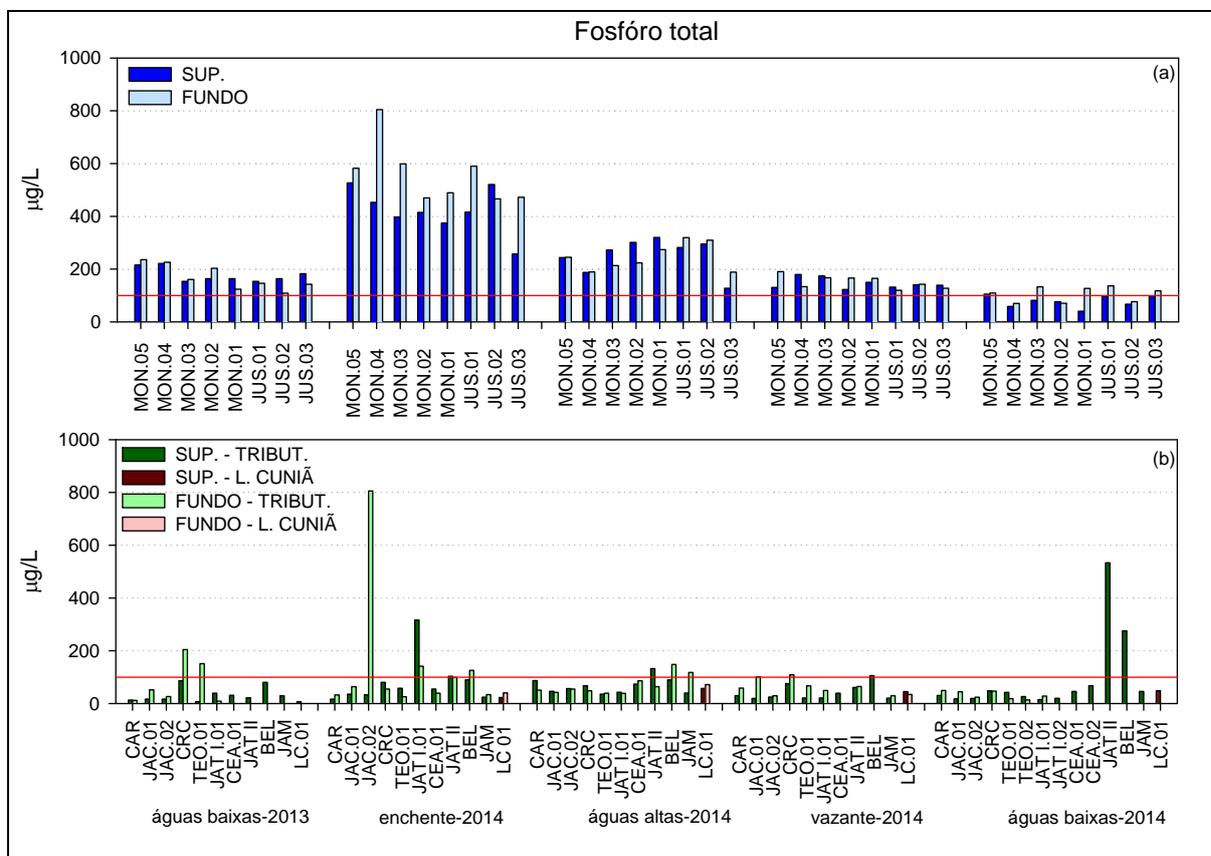


Figura 5-46 - Concentrações de fósforo total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

### 5.1.6.3 - Silicatos reativos

A sílica é um nutriente importante para alguns organismos aquáticos, mais notadamente para as algas diatomáceas (Wetzel, 2001). No rio Madeira, as concentrações médias de silicatos reativos oscilaram entre  $10,1 \pm 1,3$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $8,4 \pm 0,42$  mg/L na vazante de 2014. Nos tributários a variação das médias foi de  $10,2 \pm 1,8$  mg/L nas águas baixas de 2013 e  $3,4 \pm 2,1$  mg/L na enchente de 2014. No lago Cuniã, as concentrações oscilaram entre 11,8 mg/L nas águas baixas de 2013 e 1,0 mg/L na enchente de 2014 (Figura 5-47).

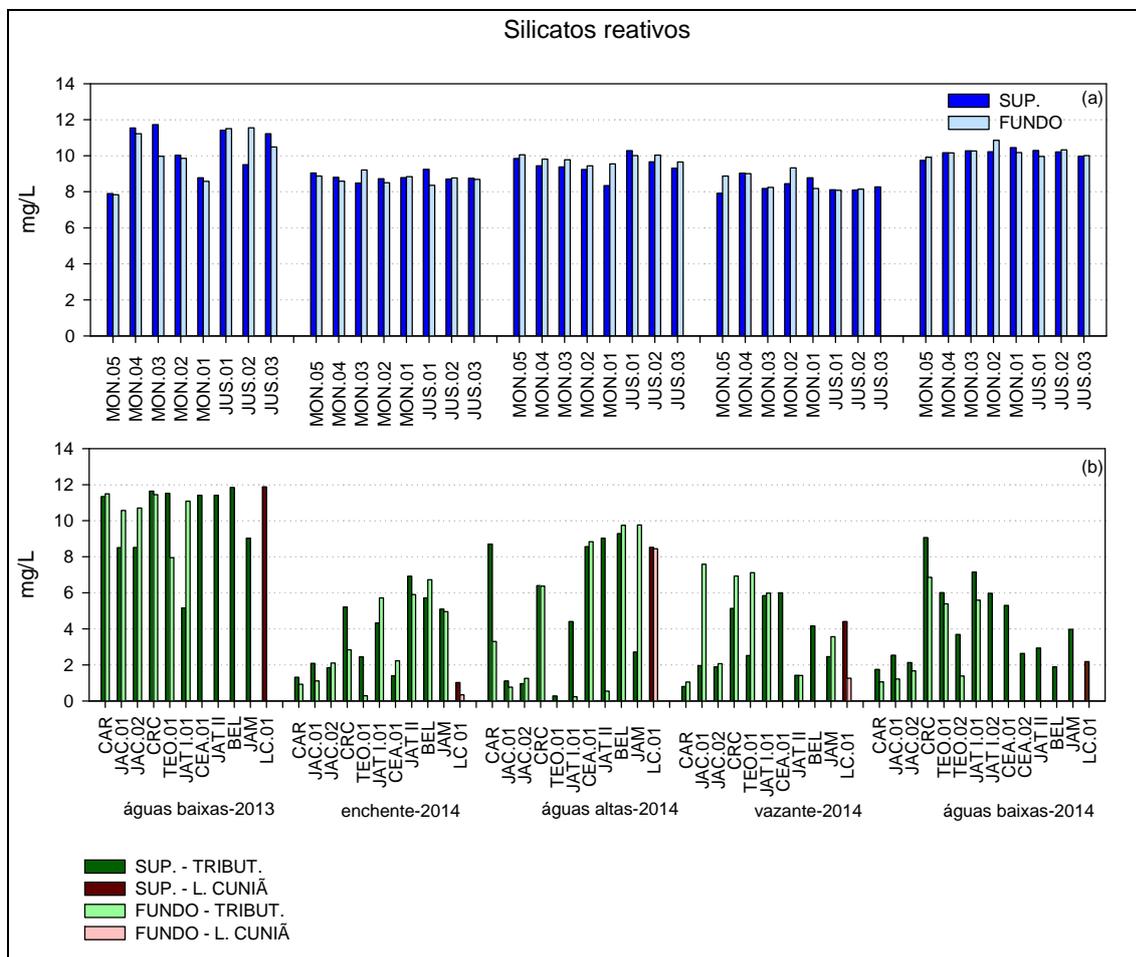


Figura 5-47 - Concentrações de silicatos reativos no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

## 5.1.7 - Químicas V

### 5.1.7.1 - Ferro

No rio Madeira, as concentrações médias de ferro total oscilaram entre  $29.856 \pm 7.045$  µg/L na enchente de 2014 e  $1.474 \pm 276$  µg/L nas águas baixas de 2014. Nos tributários as médias foram de  $2.547 \pm 1.213$  µg/L nas águas altas de 2014 e  $1.352 \pm 1.150$  µg/L na vazante de 2014. No lago Cuniã, as concentrações na superfície oscilaram entre 1.230 µg/L nas águas altas de 2014 e 394 µg/L nas águas baixas de 2014 (Figura 5-48). A concentração do lago Cuniã foi menor, semelhante à dos tributários.

O ferro dissolvido, nas estações do rio Madeira, oscilou entre  $532 \pm 84$  µg/L nas águas altas de 2014 e  $115 \pm 53$  µg/L nas águas baixas de 2014. Nos tributários o ferro dissolvido variou entre e  $455 \pm 131$  µg/L nas águas altas de 2014 e  $228 \pm 178$  µg/L nas águas baixas de 2014. No lago Cuniã variou entre 789 nas águas altas de 2014 e 68 nas águas baixas do mesmo ano. Apenas as águas baixas de 2013 e 2014 não extrapolaram em nenhuma estação o limite de 300 µg/L preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005 (Figura 5-49). Os ambientes estudados são naturalmente enriquecidos em ferro.

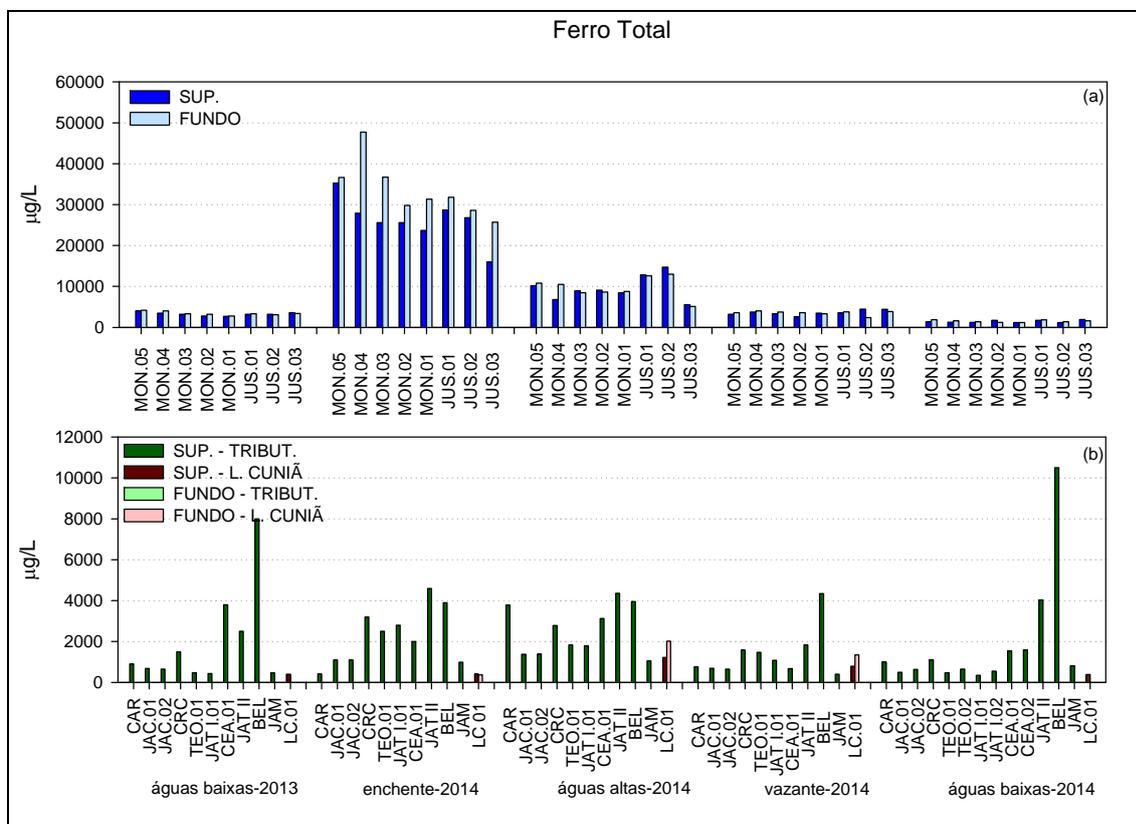


Figura 5-48 - Concentrações de ferro total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cunhã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

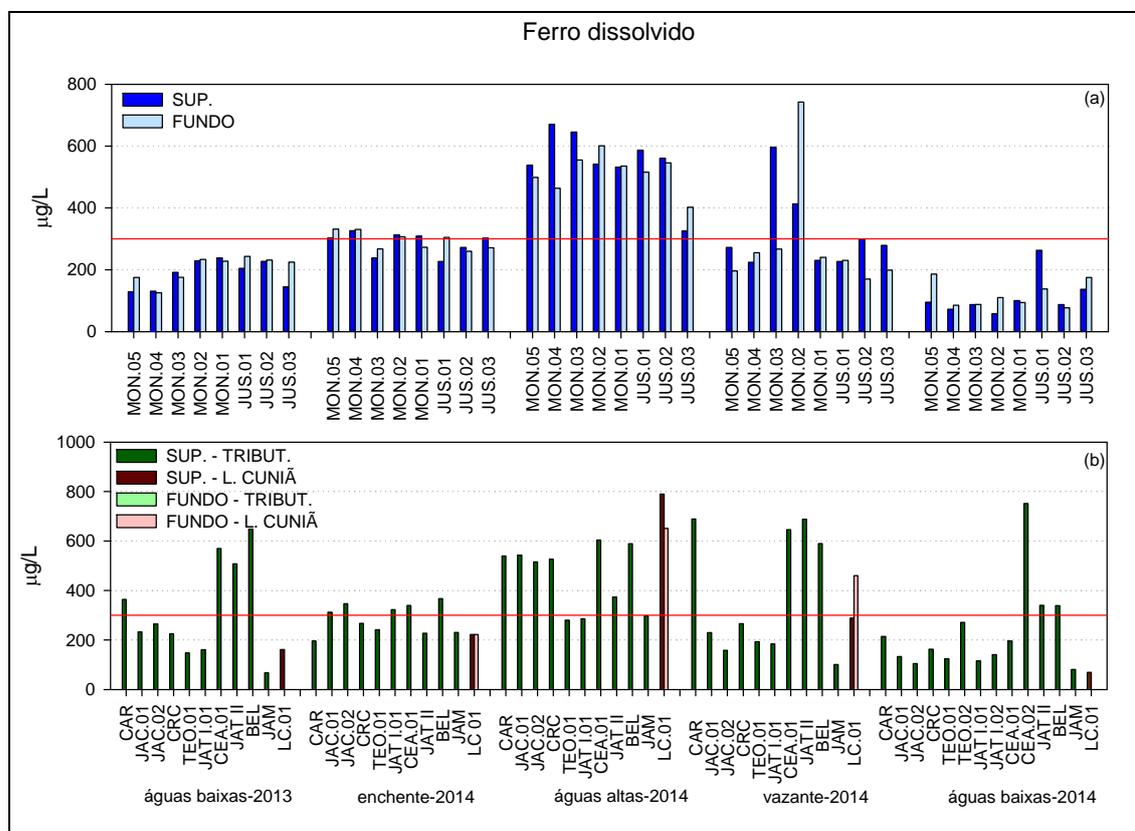


Figura 5-49 - Concentrações de ferro dissolvido no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

## 5.1.8 - Químicas VI

### 5.1.8.1 - Elementos-traço

Alguns elementos-traço, como o manganês, o cobre, o zinco e o cobalto, tomam parte de vários processos no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Em contrapartida, outros elementos, como mercúrio, chumbo, níquel, cádmio, cromo e estanho, não têm função biológica conhecida, além de serem tóxicos a uma vasta gama de organismos (Esteves, 1998). Apesar disso, mesmo os elementos-traço importantes para processos metabólicos podem ser tóxicos se encontrados em altas concentrações. As concentrações de elementos-traços são influenciadas pelo intemperismo de rochas e erosão do solo da bacia de drenagem. Rios amazônicos que drenam regiões andinas, geologicamente jovens, são responsáveis por altas concentrações de elementos-traço. Além disso, as atividades humanas, a destacar as atividades industriais, são responsáveis pelo aporte de elementos-traço em ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998).

As concentrações de cádmio e mercúrio foram inferiores ao limite de quantificação do método em todas as estações amostradas nas cinco campanhas. O cobalto só foi quantificável ( $>1 \mu\text{g/L}$ ) algumas estações, sendo a maioria encontrada no rio Madeira: superfície e fundo da campanha de enchente e vazante de 2014, algumas estações do período de águas altas de 2014, JUS.03 na campanha de águas baixas do mesmo ano. Já nos tributários, foram quantificados valores maiores que o LQ na estação de BEL nas campanhas de vazante de águas baixas de 2014 e JAT II no período de águas baixas do mesmo ano (Figura 5-50). Já o estanho só foi quantificável em três estações do rio Madeira na enchente de 2014 e uma estação na vazante do mesmo ano; em um tributário nos períodos de enchente, águas altas e vazante de 2014; e no fundo do lago Cuniã na vazante de 2014 (Figura 5-51). Já com relação ao cobre, esse elemento permaneceu abaixo do LQ na maior parte do tempo no rio Madeira, tendo aparecido somente nas campanhas de vazante e águas baixas de 2014; nos tributários, o cobre só ficou acima do LQ em quatro ocasiões ao longo do segundo ano da operação (Figura 5-52). As concentrações de cádmio, mercúrio, cobalto, estanho e cobre ficaram abaixo de seus respectivos limites preconizados para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações médias de alumínio dissolvido no rio Madeira variaram entre  $130 \pm 108 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014 e  $32,4 \pm 18,6 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $94 \pm 129 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014 e  $28,9 \pm 18,7 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014. No lago Cuniã os valores variaram de  $97 \mu\text{g/L}$  enchente de 2014 a  $20,9 \mu\text{g/L}$  vazante do mesmo ano (Figura 5-53). Alguns dos valores registrados estiveram acima do limite de  $100 \mu\text{g/L}$  preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, o que é uma condição natural dos ambientes estudados.

As concentrações médias de bário total no rio Madeira variaram entre  $191,9 \pm 35,6 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014 e  $35,2 \pm 3,6 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $34,9 \pm 19,5 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $17 \pm 6 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014. No lago Cuniã as médias variaram de  $124 \mu\text{g/L}$  águas altas de 2014 a  $7,7 \mu\text{g/L}$  vazante do mesmo ano (Figura 5-54).

As concentrações de cromo total no rio Madeira variaram entre menor do que o LQ em todas as estações nas águas baixas de 2013 e  $16,3 \pm 4,4 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014. Nos tributários e no lago Cuniã, o cromo permaneceu majoritariamente abaixo do LQ, tendo sido detectável somente em uma estação na vazante e três estações nas águas baixas de 2014 (Figura 5-55). Todos os

valores registrados foram inferiores ao limite de 50 µg/L preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações de níquel total no rio Madeira variaram entre menor do que o LQ em todas as estações nas águas baixas de 2013 e  $24,1 \pm 6,5$  µg/L na enchente de 2014. Nos tributários e no lago Cuniã, o níquel permaneceu majoritariamente abaixo do LQ, tendo sido detectável somente em seis ocasiões ao longo do segundo ano da operação (**Figura 5-56**). Em nenhuma das estações nos tributários e no lago Cuniã foram registrados valores superior ao limite de 25 µg/L-, contudo, no rio Madeira foram registrados valores superiores ao preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações de chumbo total no rio Madeira variaram entre menor do que o LQ em todas as estações nas águas baixas de 2013 e  $23,8 \pm 6,8$  µg/L na enchente de 2014. Nos tributários e no lago Cuniã, o chumbo permaneceu majoritariamente abaixo do LQ, tendo sido detectável somente em seis ocasiões ao longo do segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014) (**Figura 5-57**). Todos os valores registrados nos tributários e no lago Cuniã foram inferiores ao limite de 10 µg/L preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, mas as estações do rio Madeira excederam esse limite no período de enchente de 2014.

As concentrações médias de silício no rio Madeira variaram entre  $17.325 \pm 2.717$  µg/L na enchente de 2014 e  $3.928 \pm 1.658$  µg/L nas águas baixas de 2014. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $4.823 \pm 1.366,52$  µg/L nas águas altas de 2014 e  $3.657 \pm 1.011$  µg/L na enchente de 2014. No lago Cuniã as concentrações variaram de 5.420 µg/L águas baixas de 2013 a 2.410 µg/L águas baixas de 2014. (**Figura 5-58**). A concentração do lago Cuniã assemelhou-se às registradas nos tributários.

As concentrações médias de zinco total no rio Madeira variaram entre  $123 \pm 52$  µg/L na enchente de 2014 e  $9,4 \pm 5,1$  µg/L nas águas baixas de 2013. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $33,7 \pm 18,7$  µg/L nas águas altas de 2014 e  $5 \pm 4$  µg/L nas águas baixas de 2013. No lago Cuniã as concentrações variaram de 33,9 µg/L águas altas de 2014 a 2,6 µg/L águas baixas de 2013 (**Figura 5-59**). A concentração medida no lago Cuniã foi maior do que os tributários, em alguns casos. Todos os valores registrados, exceto MON.02, MON.04 e JUS.03 (rio Madeira) na enchente de 2014, foram inferiores ao limite de 180 µg/L preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações médias de manganês total no rio Madeira variaram entre  $582 \pm 204 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014 e  $50,4 \pm 10,1 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013. Nos tributários, as concentrações oscilaram entre  $71 \pm 88 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014 e  $15 \pm 42 \mu\text{g/L}$  na enchente de 2014. Já no lago Cuniã as concentrações variaram de  $33 \mu\text{g/L}$  vazante de 2014 a  $5,4 \mu\text{g/L}$  águas baixas de 2013 (Figura 5-60). Boa parte dos valores esteve acima do limite de  $100 \mu\text{g/L}$  preconizado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005. Trata-se de condição natural dos ambientes em estudo.

A maior parte dos elementos-traço apresentou pico na enchente de 2014, período em que houve recorde de precipitação na bacia do rio Madeira, especialmente nos Andes e na planície boliviana.

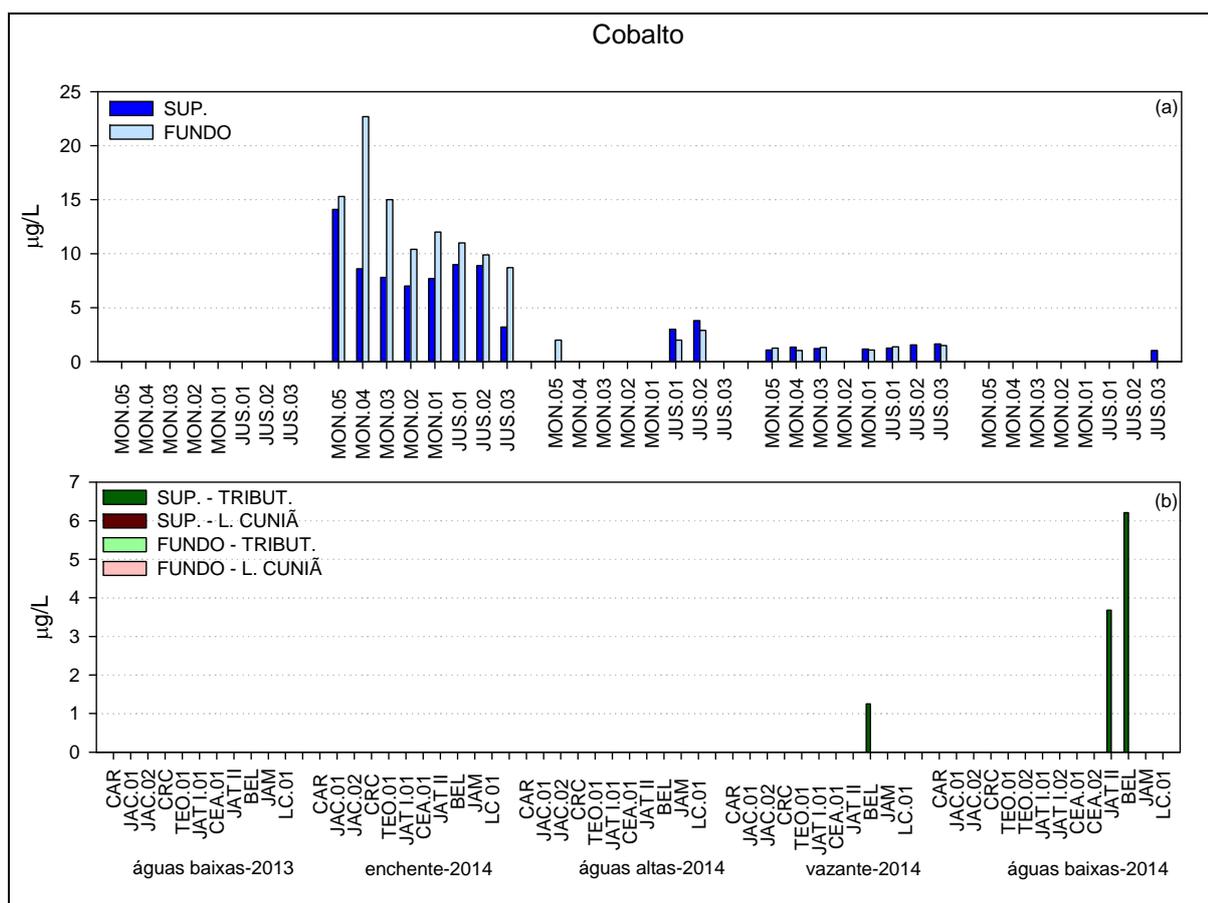


Figura 5-50- Concentrações de cobalto no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

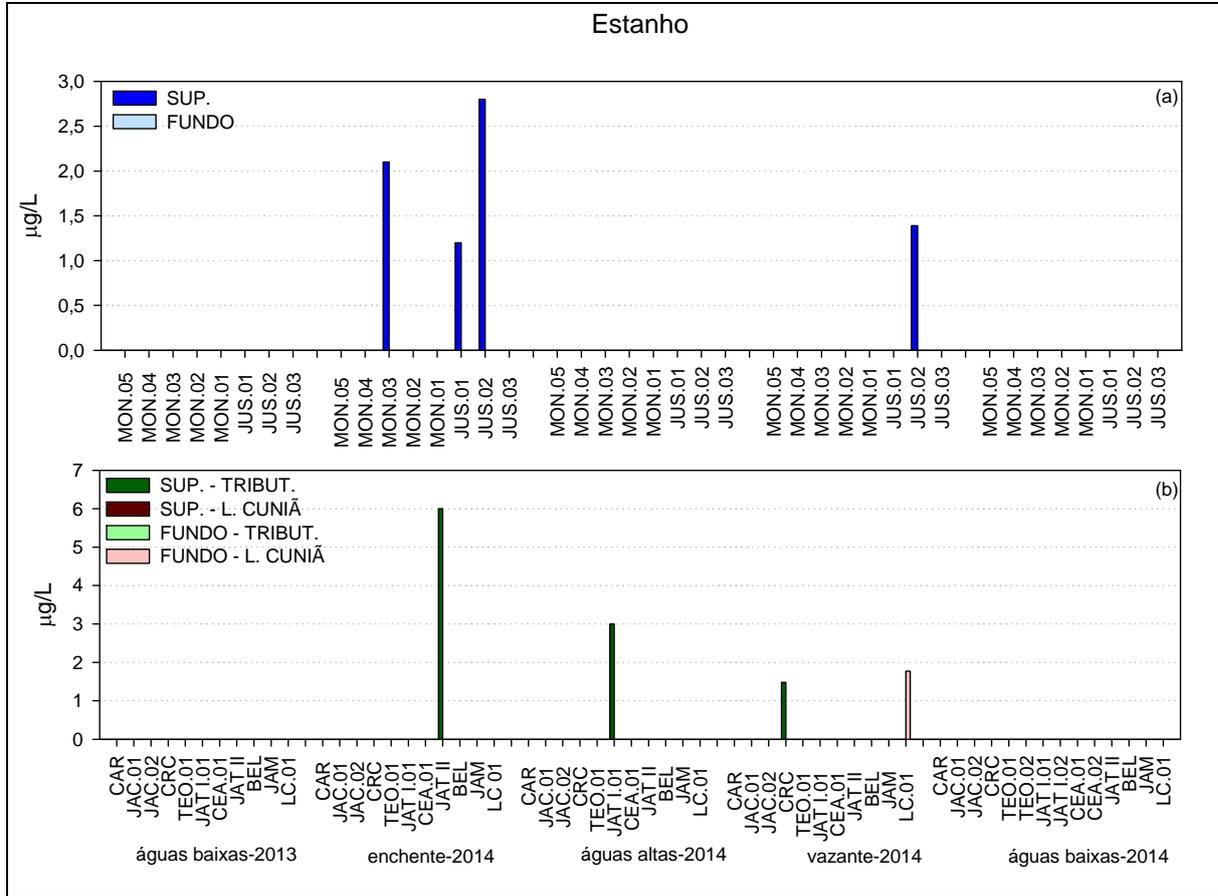


Figura 5-51- Concentrações de estanho no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).



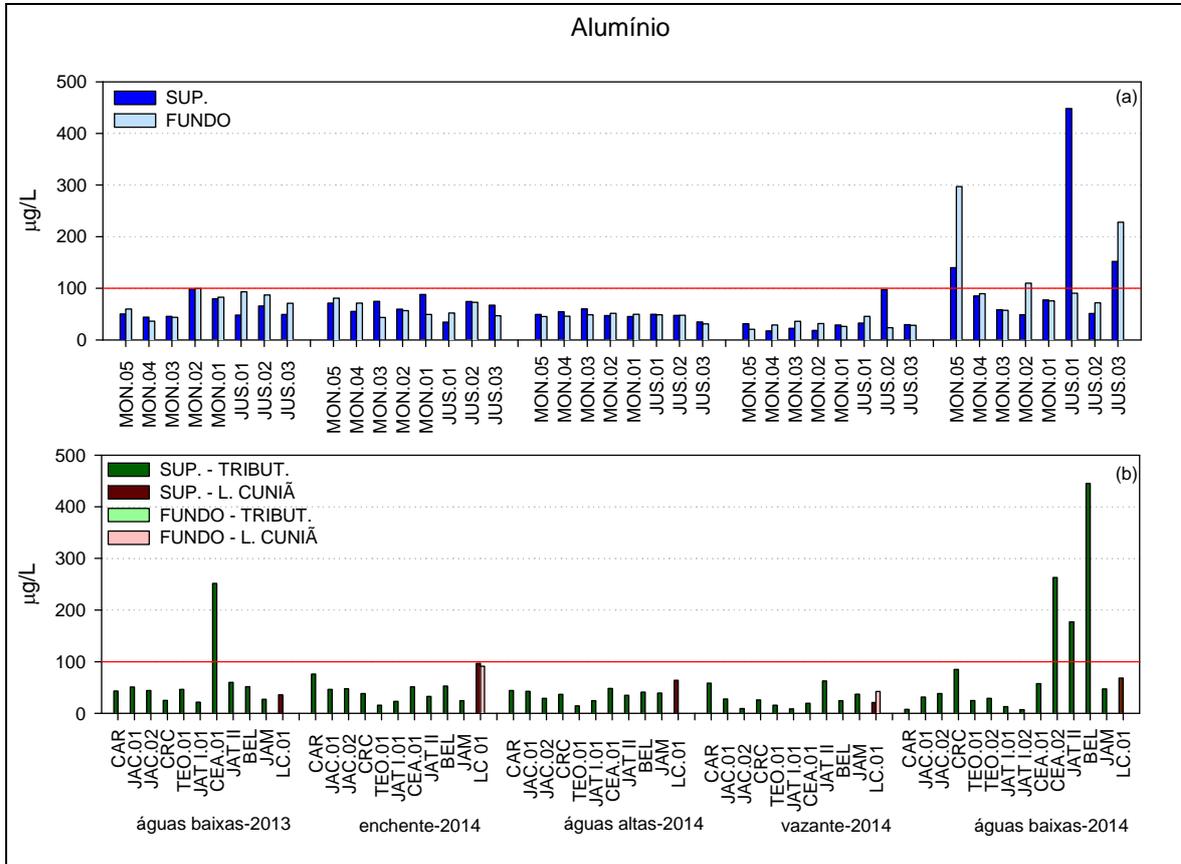


Figura 5-53 - Concentrações de alumínio dissolvido no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

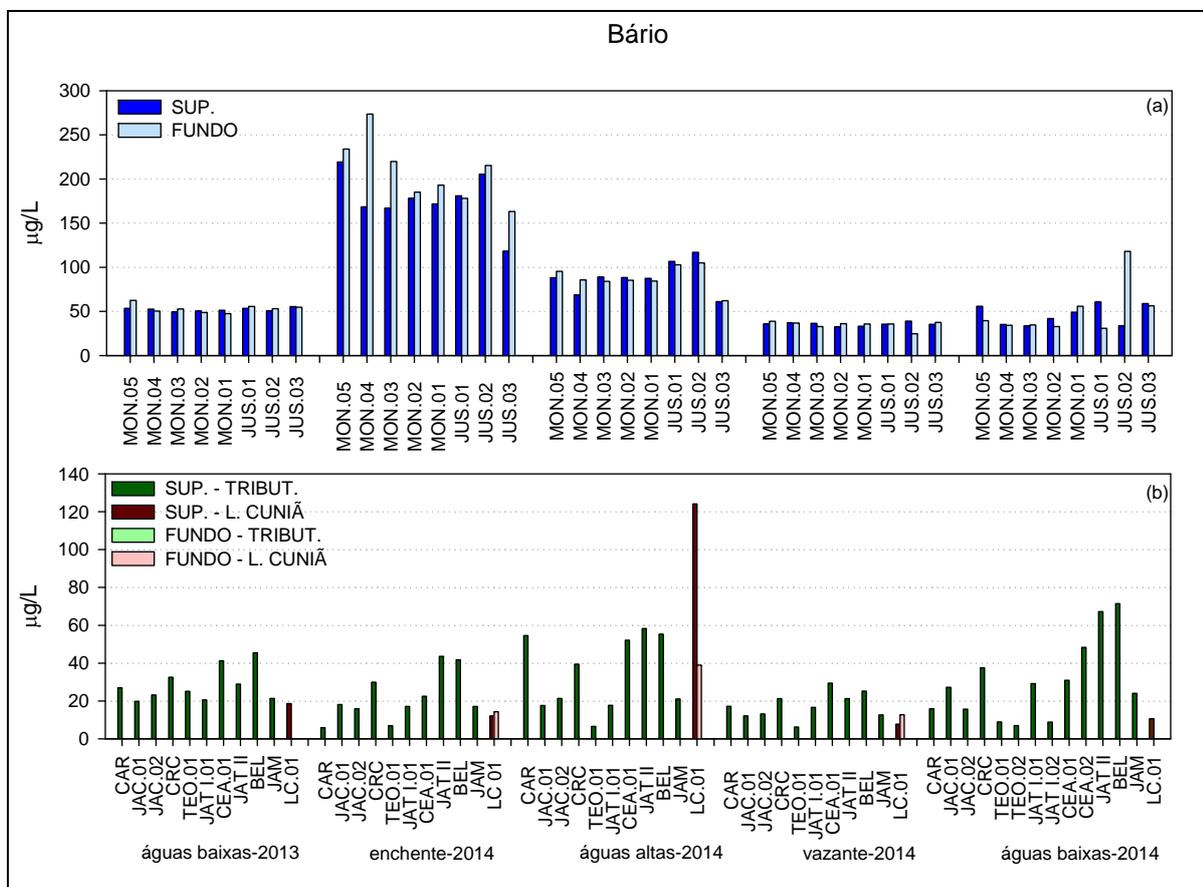


Figura 5-54 - Concentrações de bário total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

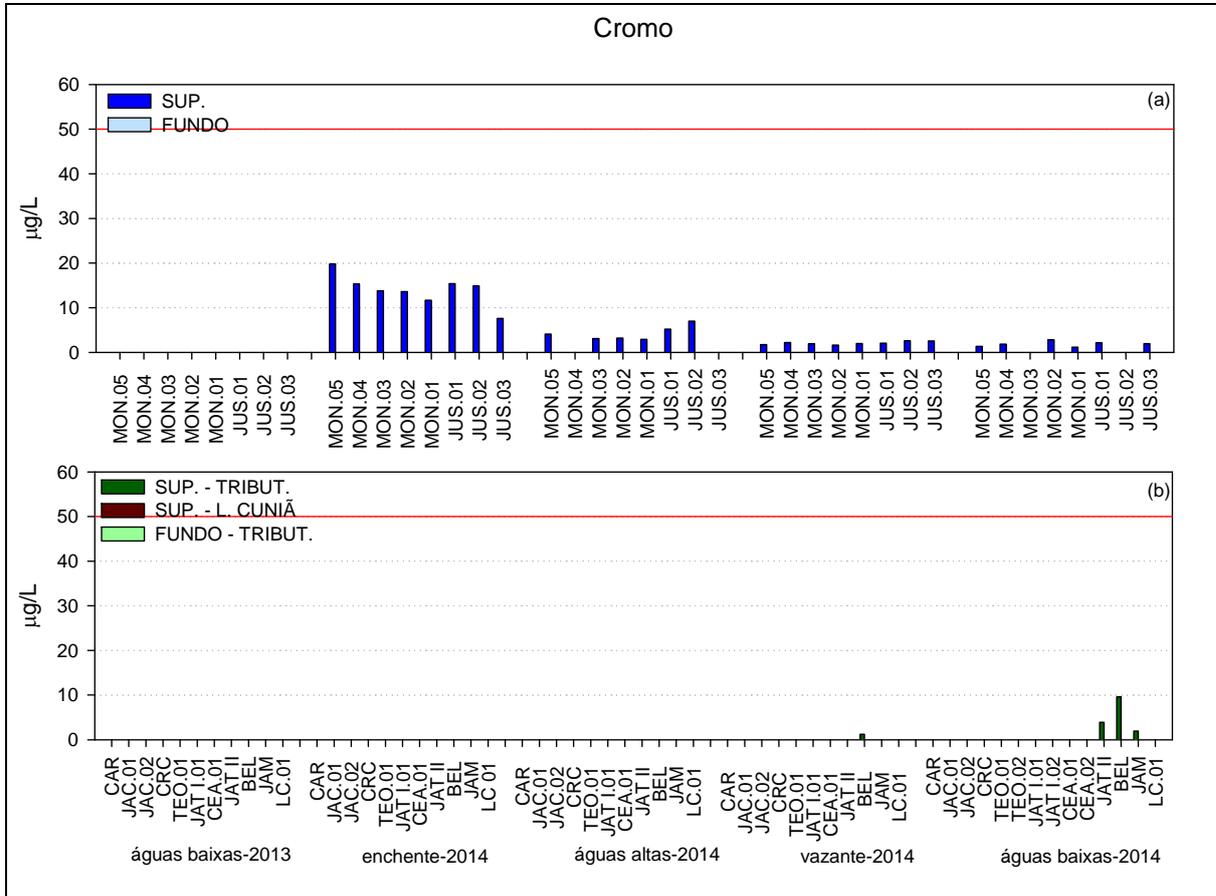


Figura 5-55 - Concentrações de cromo total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

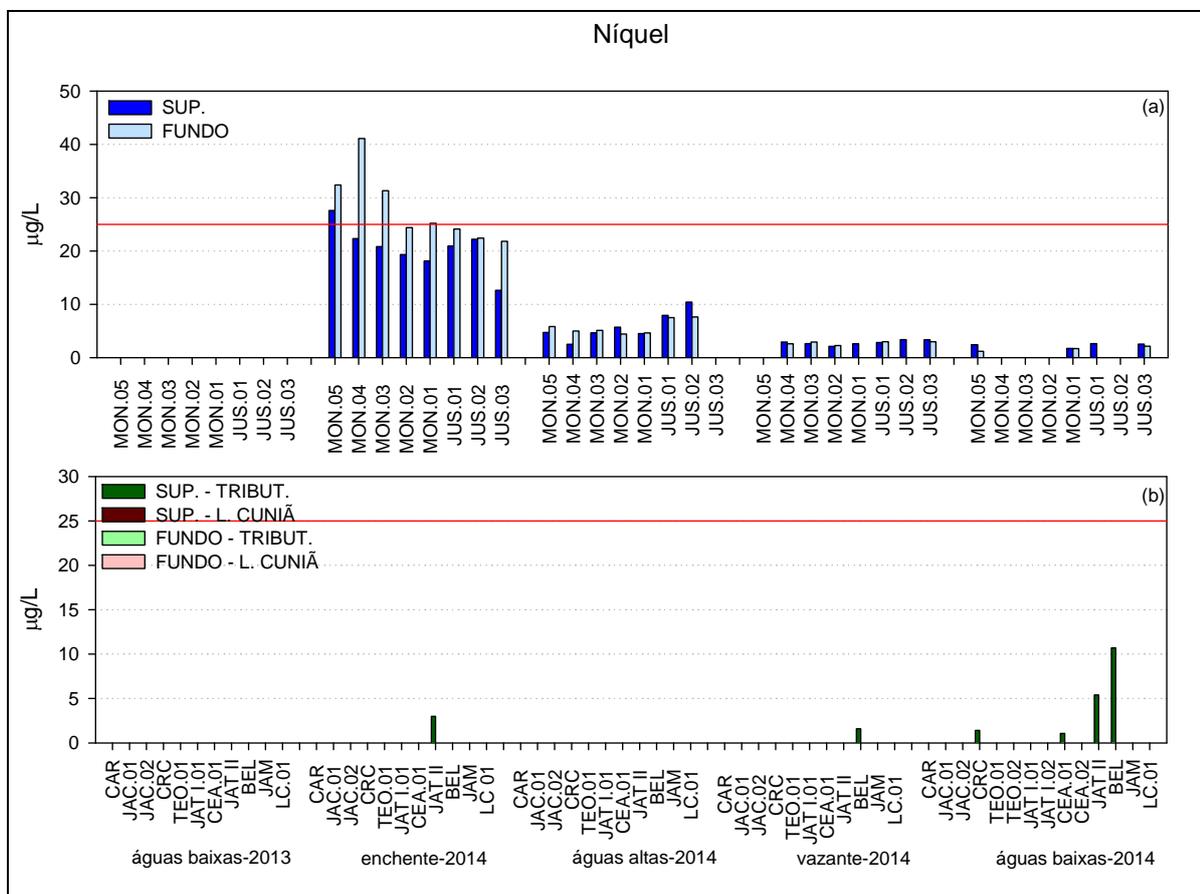


Figura 5-56 - Concentrações de níquel total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

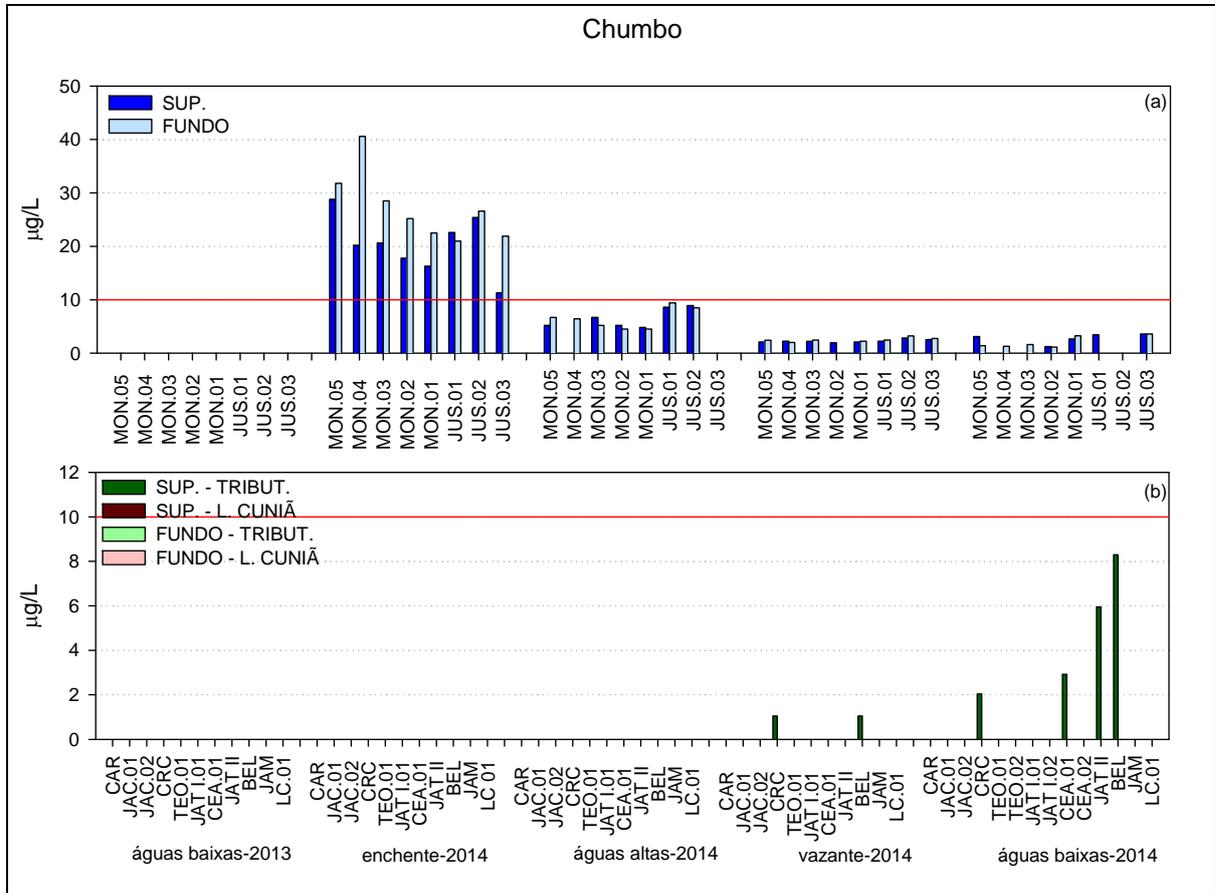


Figura 5-57 - Concentrações de chumbo total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

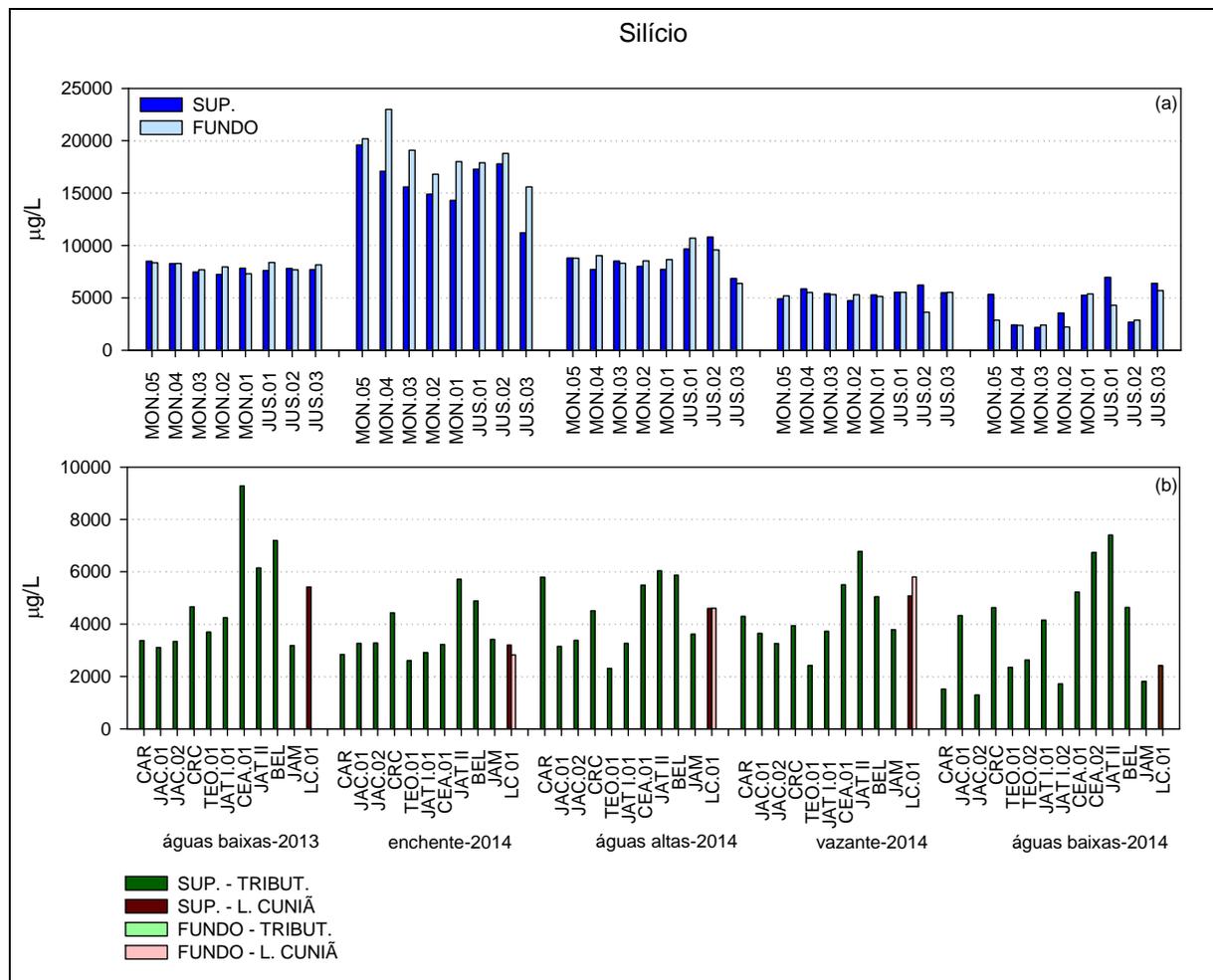


Figura 5-58 - Concentrações de silício no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

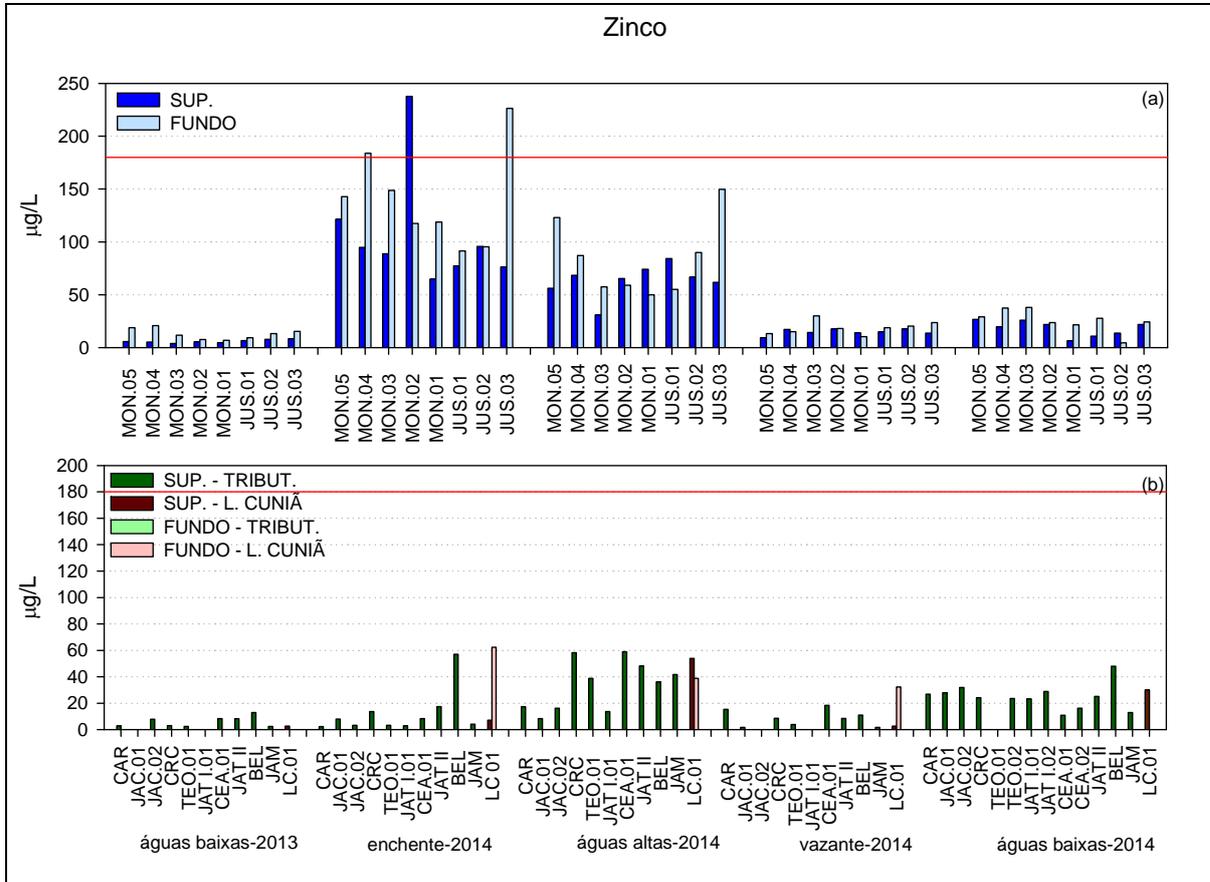


Figura 5-59 - Concentrações de zinco total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

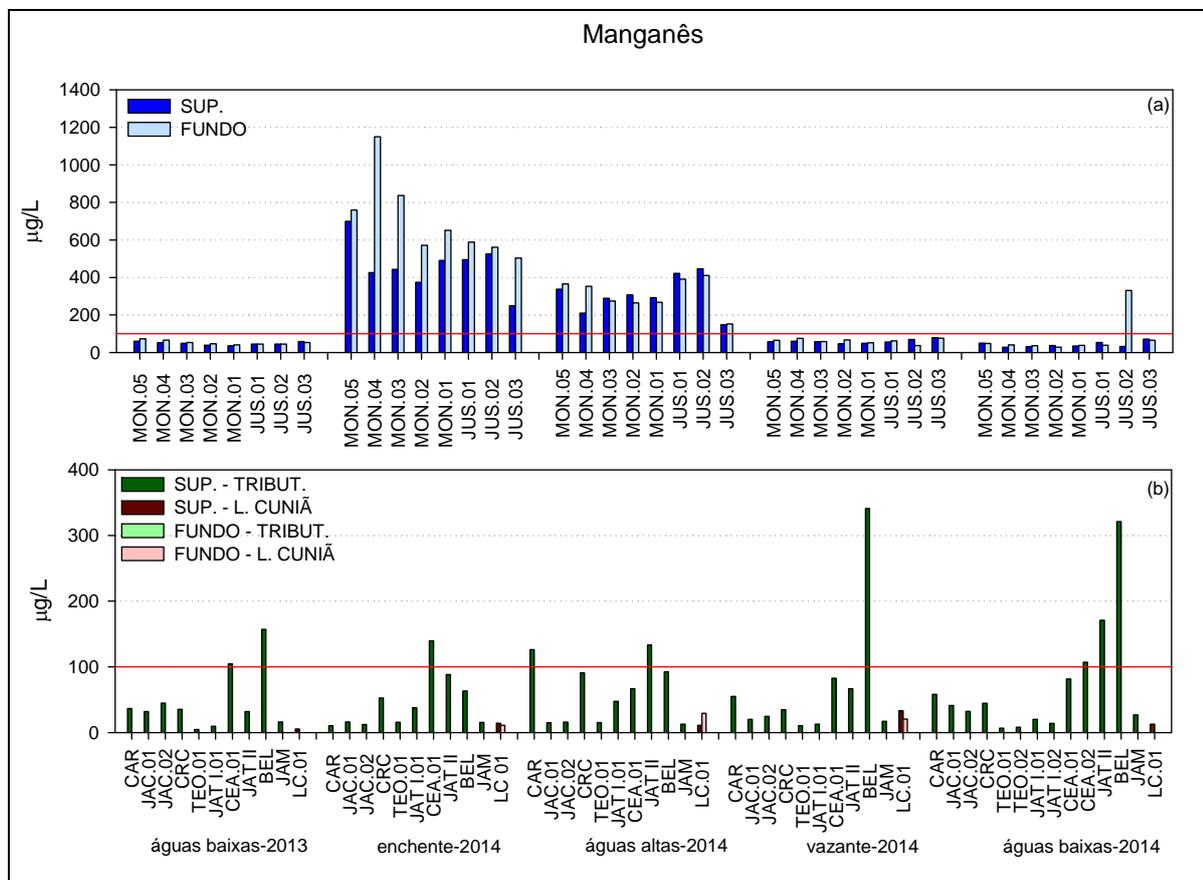


Figura 5-60 - Concentrações de manganês total no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

## 5.1.9 - Biológicas

### 5.1.9.1 - Coliformes totais e *Escherichia coli*

Os índices médios de coliformes totais foram de  $1.470,1 \pm 773,3$  NMP/ 100 ml na vazante de 2014 e  $214,7 \pm 126$  NMP/ 100 ml nas águas baixas de 2014, no rio Madeira e  $1.375,9 \pm 1.043,1$  NMP/ 100 ml na vazante de 2014 e  $215,76 \pm 198,11$  NMP/ 100 ml nas águas baixas de 2013, nos tributários (Figura 5-61). O valor registrado no lago Cuniã foi o mais baixo registrado dentre todas as estações de coleta.

Os índices de *E. coli* foram baixos em geral. No rio Madeira, as médias de *E. coli* variaram entre  $46,17 \pm 15,2$  NMP/ 100 ml na enchente de 2014 e  $11,83 \pm 14,48$  NMP/ 100 ml na vazante de 2014. Nos tributários, os valores oscilaram entre  $104,27 \pm 221,96$  NMP/ 100 ml nas águas baixas de 2014 e  $24,1 \pm 16,27$  NMP/ 100 ml nas águas altas de 2014 (Figura 5-62). Isso sugere que os coliformes de origem estritamente fecal compõem somente uma pequena parcela dos coliformes totais. Alguns valores foram superiores ao limite de 1000 NMP/100 mL estipulado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

Os coliformes foram também monitorados nas praias de Jaci e Teotônio ao longo do segundo ano da operação (Figura 5-63). Na praia de Jaci, os valores de coliformes totais variaram entre 312 NMP/100 mL (águas altas/2014) e  $>2.419,6$  NMP/100 mL (águas baixas/2014), enquanto que os coliformes fecais (*E. coli*) oscilaram entre 1 NMP/100 mL (vazante/2014) e 108 NMP/100 mL (águas baixas/2013). Já na praia de Teotônio, os valores de coliformes totais variaram entre 57 NMP/100 mL (águas baixas/2013) e  $>2419,6$  NMP/100 mL (águas altas/2014), enquanto que os coliformes fecais (*E. coli*) oscilaram entre 1 NMP/100 mL (águas baixas/2014) e 38 NMP/100 mL (enchente/2014). Os valores de coliformes fecais nas praias foram sempre inferiores a 1000 NMP/100 mL durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014), indicando boa condição de balneabilidade.

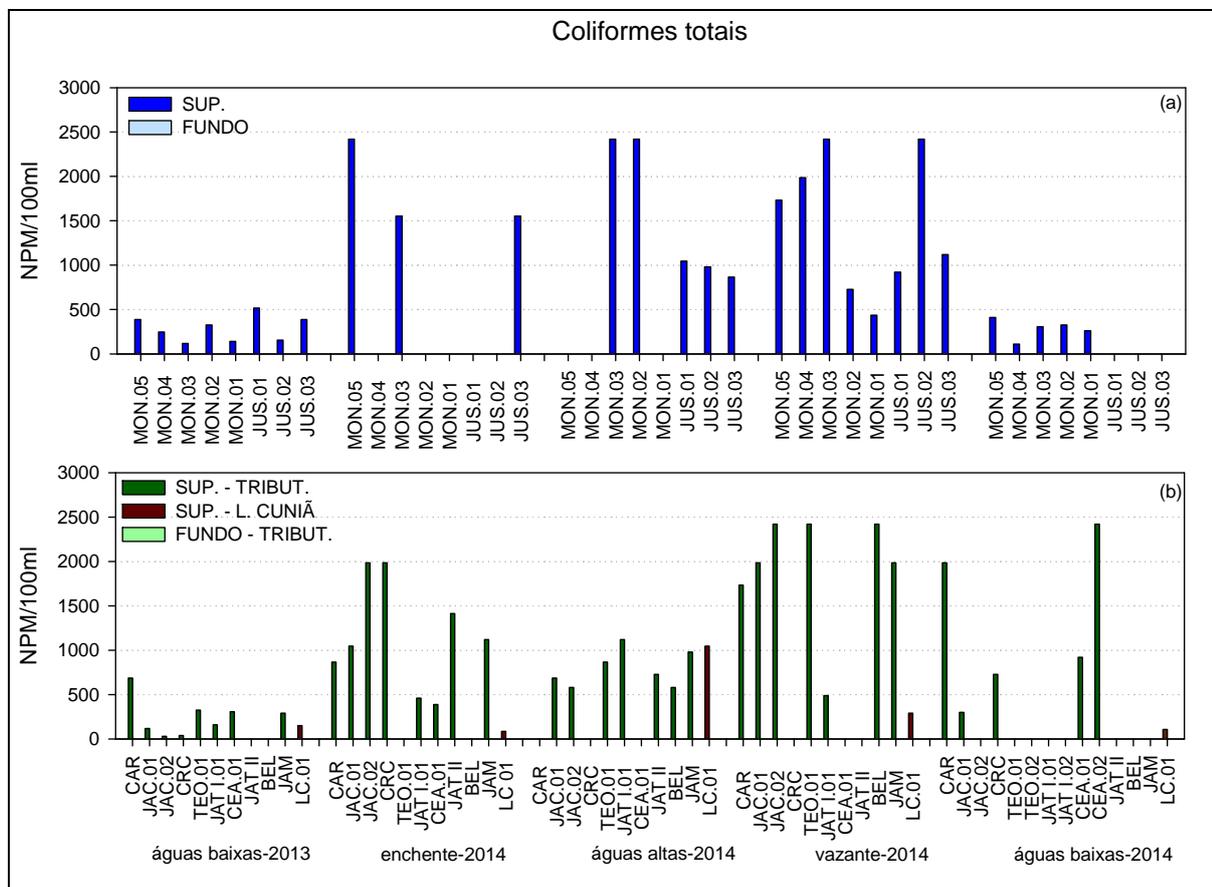


Figura 5-61 - Coliformes totais no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

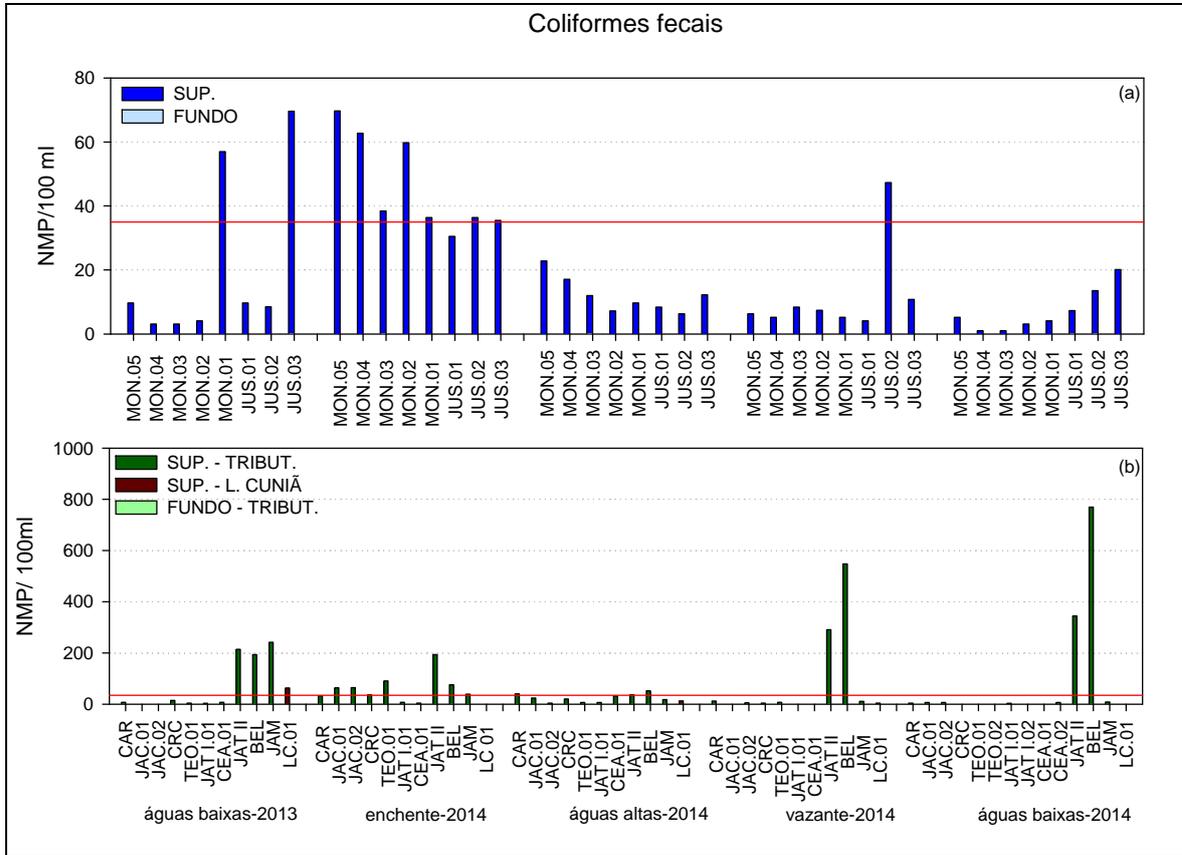


Figura 5-62 - *Escherichia coli* no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

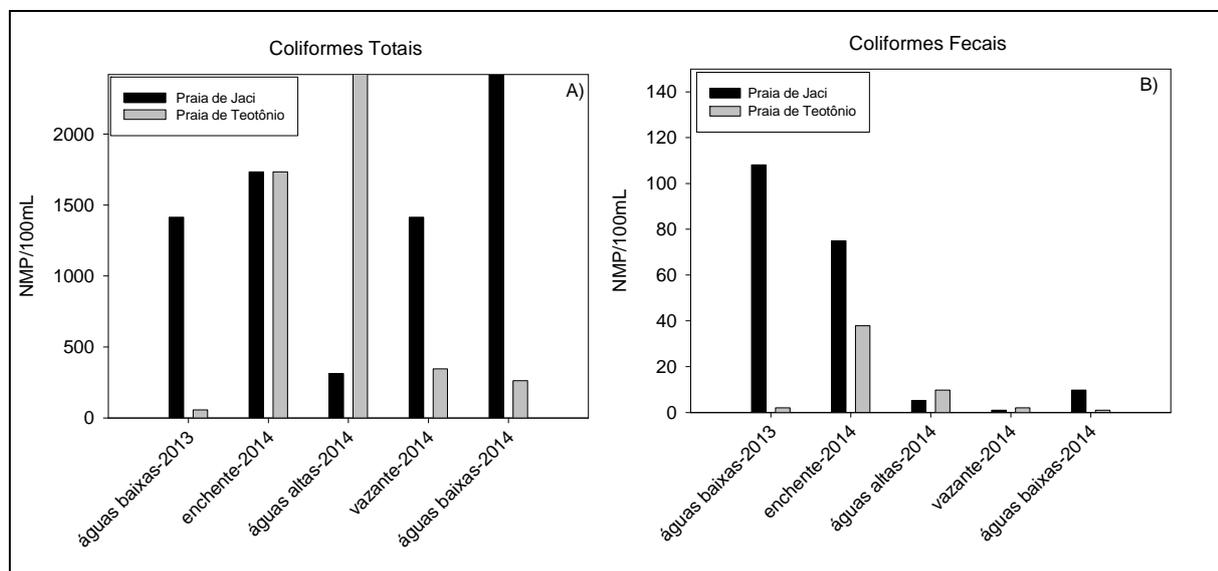


Figura 5-63 - Coliformes totais (a) e fecais (b) nas praias de Jaci e Teotônio ao longo do segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

### 5.1.9.2 - Clorofila *a* e pigmentos totais

No rio Madeira, as médias de clorofila *a* variaram entre  $0,4 \pm 1,0 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014 e  $4,1 \pm 1,6 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013. Nos tributários, os valores oscilaram entre  $2,5 \pm 1,0 \mu\text{g/L}$  nas águas altas de 2014 e  $8,8 \pm 19,8 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014. No lago Cuniã as concentrações oscilaram entre  $<LQ$  nas águas baixas de 2014 e  $48 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014 (Figura 5-64). Concentrações menores no rio Madeira ocorrem em consequência da pequena zona eufótica desse rio, o que limita a produção fitoplanctônica. A estação do lago Cuniã (vazante/2014) e CEA.01 (águas baixas/2014) excederam o limite de  $30 \mu\text{g/L}$  estipulado para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005.

Em relação aos pigmentos totais, no rio Madeira, as médias variaram entre  $2,4 \pm 2,9 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2014 e  $6,2 \pm 2,1 \mu\text{g/L}$  nas águas baixas de 2013. Nos tributários, oscilou entre  $4,3 \pm 2,2 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014 e  $12,2 \pm 7,2 \mu\text{g/L}$  na vazante de 2014 (Figura 5-65).

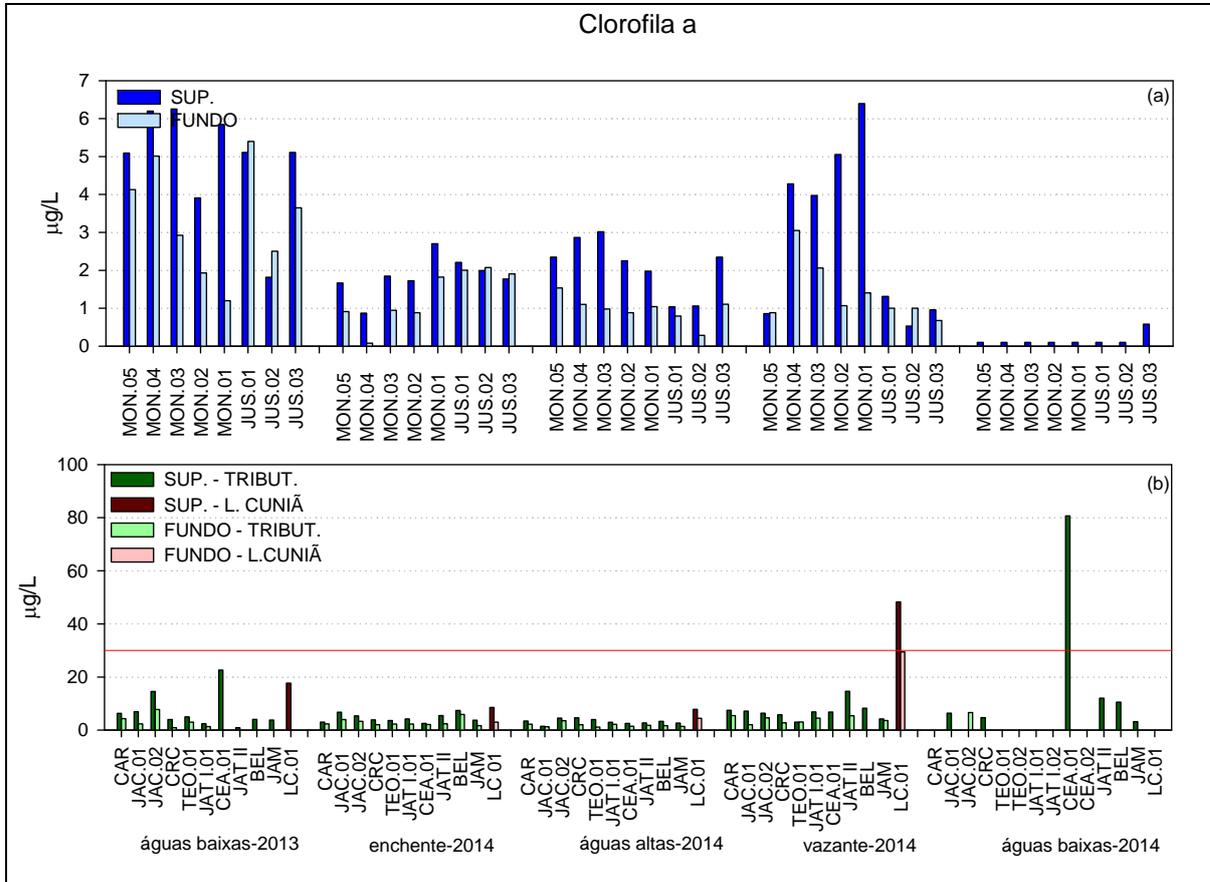


Figura 5-64 - Concentrações de clorofila-a no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014). A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

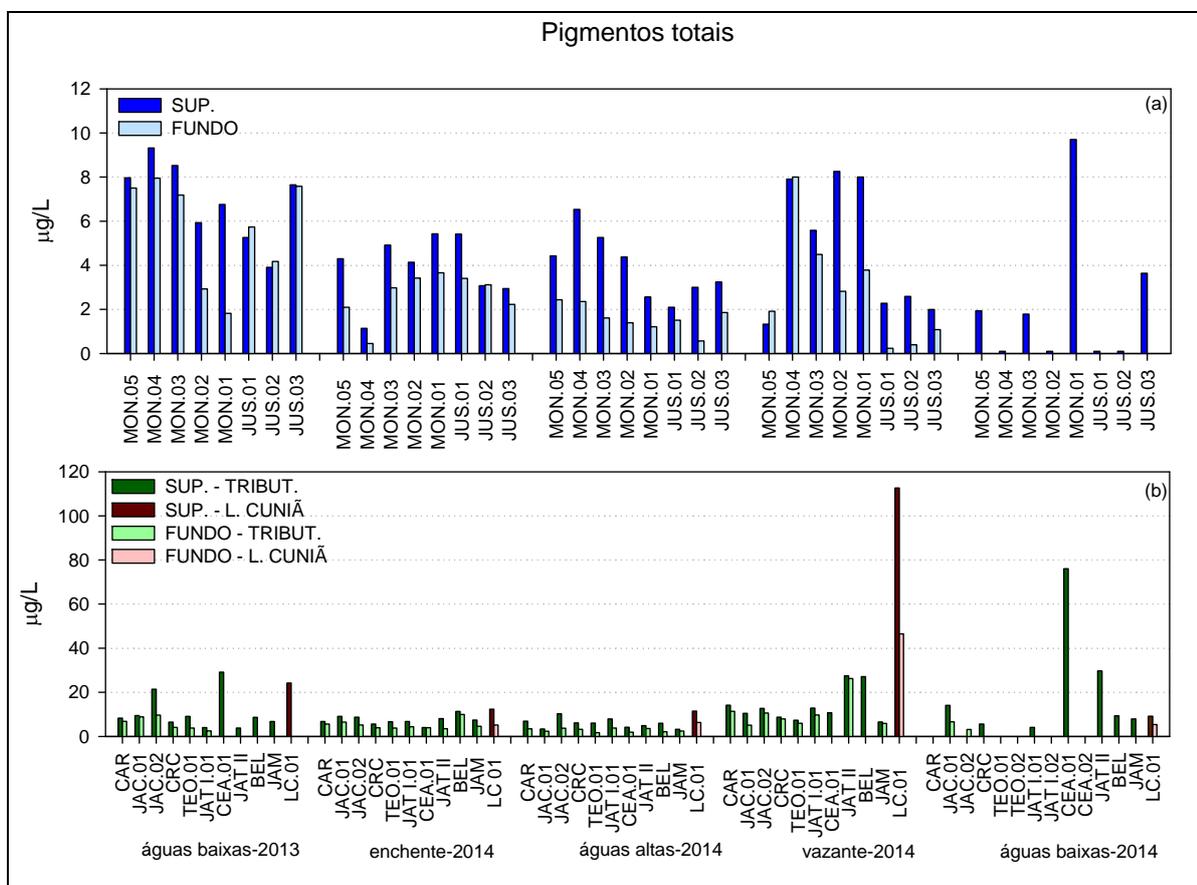


Figura 5-65 - Concentrações de pigmentos totais no rio Madeira (a), nos tributários e no lago Cuniã (b) durante o segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

### 5.1.9.3 - Pontos de captação de água para abastecimento público: PCM e PCT

Ao longo de todo o segundo ano da operação a contagem de cianobactérias foi inferior a 3 céls/mL (limite de quantificação do método), indicando que microalgas potencialmente tóxicas estão virtualmente ausentes nos pontos PCT e PCM, onde é feita captação de água para abastecimento público.

No mês de setembro de 2014 foi realizada uma análise de toda a série de variáveis listadas na Resolução CONAMA 357/2005 nas estações PCM e PCT. Na estação PCM, nenhuma variável apresentou valores em inconformidade com o que é estabelecido para corpos de água doce de classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005. Já na estação PCT, a grande maioria das variáveis também esteve em conformidade com o que estabelece a resolução supracitada, com exceção do cloro residual, que apresentou concentração superior ao limite preconizado (Anexo 5.a).

### 5.1.9.4 - Índice de estado trófico (IET)

Conforme deferimento do Parecer 282/2013 do IBAMA, não foi calculado o IET das estações situadas no rio Madeira. O IET predominante nas estações dos tributários foi mesotrófico (Quadro 5.1-1). Em alguns casos, devido aos baixos valores de clorofila, foi registrado IET ultraoligotrófico, como nas águas baixas de 2014. Por outro lado, foi registrada também condição de hipereutrofia, como nas estações LC.01 (vazante/2014) e CEA.01 e JAT II (águas baixas/2014). De modo geral, as águas do lago Cuniã apresentaram condições eutrofizadas.

Quadro 5.1-1 - Índice de Estado Trófico (IET) nas estações dos tributários e do lago Cuniã ao longo do segundo ano da operação.

| ÁGUAS BAIXAS-2013 |  |          | ENCHENTE-2014  |  |          |
|-------------------|--|----------|----------------|--|----------|
| IET               |  | Estação  | IET            |  | Estação  |
| MESOTRÓFICO       |  | CAR      | MESOTRÓFICO    |  | CAR      |
| MESOTRÓFICO       |  | JAC.01   | EUTRÓFICO      |  | JAC.01   |
| EUTRÓFICO         |  | JAC.02   | MESOTRÓFICO    |  | JAC.02   |
| EUTRÓFICO         |  | CRC      | EUTRÓFICO      |  | CRC      |
| MESOTRÓFICO       |  | TEO.01   | MESOTRÓFICO    |  | TEO.01   |
| MESOTRÓFICO       |  | JAT I.01 | SUPEREUTRÓFICO |  | JAT I.01 |
| SUPEREUTRÓFICO    |  | CEA.01   | MESOTRÓFICO    |  | CEA.01   |
| OLIGOTRÓFICO      |  | JAT II   | EUTRÓFICO      |  | JAT II   |
| EUTRÓFICO         |  | BEL      | EUTRÓFICO      |  | BEL      |
| MESOTRÓFICO       |  | JAM      | MESOTRÓFICO    |  | JAM      |
| EUTRÓFICO         |  | LC.01    | EUTRÓFICO      |  | LC.01    |

| ÁGUAS ALTAS-2014 |  |          |
|------------------|--|----------|
| IET              |  | Estação  |
| MESOTRÓFICO      |  | CAR      |
| MESOTRÓFICO      |  | JAC.01   |
| EUTRÓFICO        |  | JAC.02   |
| EUTRÓFICO        |  | CRC      |
| MESOTRÓFICO      |  | TEO.01   |
| MESOTRÓFICO      |  | JAT I.01 |
| MESOTRÓFICO      |  | CEA.01   |
| MESOTRÓFICO      |  | JAT II   |
| MESOTRÓFICO      |  | BEL      |
| MESOTRÓFICO      |  | JAM      |
| EUTRÓFICO        |  | LC.01    |

| VAZANTE-2014   |  |          |
|----------------|--|----------|
| IET            |  | Estação  |
| EUTRÓFICO      |  | CAR      |
| MESOTRÓFICO    |  | JAC.01   |
| MESOTRÓFICO    |  | JAC.02   |
| EUTRÓFICO      |  | CRC      |
| MESOTRÓFICO    |  | TEO.01   |
| MESOTRÓFICO    |  | JAT I.01 |
| EUTRÓFICO      |  | CEA.01   |
| SUPEREUTRÓFICO |  | JAT II   |
| SUPEREUTRÓFICO |  | BEL      |
| MESOTRÓFICO    |  | JAM      |
| HIPEREUTRÓFICO |  | LC.01    |

| ÁGUAS BAIXAS-2014 |  |          |
|-------------------|--|----------|
| IET               |  | Estação  |
| ULTRAOLIGOTRÓFICO |  | CAR      |
| MESOTRÓFICO       |  | JAC.01   |
| ULTRAOLIGOTRÓFICO |  | JAC.02   |
| MESOTRÓFICO       |  | CRC      |
| ULTRAOLIGOTRÓFICO |  | TEO.01   |
| ULTRAOLIGOTRÓFICO |  | JAT I.01 |
| HIPEREUTRÓFICO    |  | CEA.01   |
| HIPEREUTRÓFICO    |  | JAT II   |
| SUPEREUTRÓFICO    |  | BEL      |
| MESOTRÓFICO       |  | JAM      |
| ULTRAOLIGOTRÓFICO |  | LC.01    |

### 5.1.9.5 - Índice de qualidade da água (IQA)

Os resultados do IQA apontam para uma água de boa qualidade nas estações monitoradas pelo Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas ao longo do segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014) (Quadro 5.1-2). Em somente cinco ocasiões a água pôde ser considerar como aceitável, sendo todas elas nas estações BEL ou JAT II, ambas situadas a jusante da barragem. Em todas as outras ocasiões a água foi qualificada como boa ou

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -  
Relatório 9 / Consolidado das fases de instalação e operação

ótima de acordo com o IQA, incluindo as águas altas de 2014, período em que ocorreu a maior cheia que se tem registro no rio Madeira.

Quadro 5.1-2 - Índice de Qualidade da Água (IQA) no rio Madeira, nos tributários e no lago Cuniã ao longo do segundo ano da operação (outubro de 2013 a outubro de 2014).

| águas baixas-2013 |       |          | enchente-2014 |           |          | águas altas-2014 |     |          |
|-------------------|-------|----------|---------------|-----------|----------|------------------|-----|----------|
| IQA               |       | Estação  | IQA           |           | Estação  | IQA              |     | Estação  |
| 69                | BOA   | MON.05   | 58            | BOA       | MON.05   | 62               | BOA | MON.05   |
| 71                | BOA   | MON.04   | 59            | BOA       | MON.04   | 63               | BOA | MON.04   |
| 71                | BOA   | MON.03   | 60            | BOA       | MON.03   | 61               | BOA | MON.03   |
| 72                | BOA   | MON.02   | 59            | BOA       | MON.02   | 60               | BOA | MON.02   |
| 66                | BOA   | MON.01   | 60            | BOA       | MON.01   | 58               | BOA | MON.01   |
| 69                | BOA   | JUS.01   | 60            | BOA       | JUS.01   | 62               | BOA | JUS.01   |
| 70                | BOA   | JUS.02   | 59            | BOA       | JUS.02   | 61               | BOA | JUS.02   |
| 65                | BOA   | JUS.03   | 61            | BOA       | JUS.03   | 64               | BOA | JUS.03   |
| 55                | BOA   | CAR      | 71            | BOA       | CAR      | 64               | BOA | CAR      |
| 86                | ÓTIMA | JAC.01   | 74            | BOA       | JAC.01   | 65               | BOA | JAC.01   |
| 53                | BOA   | JAC.02   | 74            | BOA       | JAC.02   | 70               | BOA | JAC.02   |
| 79                | BOA   | CRC      | 62            | BOA       | CRC      | 67               | BOA | CRC      |
| 90                | ÓTIMA | TEO.01   | 67            | BOA       | TEO.01   | 77               | BOA | TEO.01   |
| 92                | ÓTIMA | JAT I.01 | 67            | BOA       | JAT I.01 | 79               | BOA | JAT I.01 |
| 66                | BOA   | CEA.01   | 82            | ÓTIMA     | CEA.01   | 63               | BOA | CEA.01   |
| 66                | BOA   | JAT II   | 48            | ACEITÁVEL | JAT II   | 61               | BOA | JAT II   |
| 56                | BOA   | BEL      | 52            | BOA       | BEL      | 61               | BOA | BEL      |
| 80                | ÓTIMA | JAM      | 80            | ÓTIMA     | JAM      | 77               | BOA | JAM      |
| 78                | BOA   | LC.01    | 86            | ÓTIMA     | LC.01    | 73               | BOA | LC.01    |

| vazante-2014 |           |          | águas baixas-2014 |           |          |
|--------------|-----------|----------|-------------------|-----------|----------|
| IQA          |           | Estação  | IQA               |           | Estação  |
| 70           | BOA       | MON.05   | 71                | BOA       | MON.05   |
| 70           | BOA       | MON.04   | 74                | BOA       | MON.04   |
| 69           | BOA       | MON.03   | 75                | BOA       | MON.03   |
| 70           | BOA       | MON.02   | 84                | ÓTIMA     | MON.02   |
| 71           | BOA       | MON.01   | 85                | ÓTIMA     | MON.01   |
| 70           | BOA       | JUS.01   | 70                | BOA       | JUS.01   |
| 66           | BOA       | JUS.02   | 81                | ÓTIMA     | JUS.02   |
| 69           | BOA       | JUS.03   | 68                | BOA       | JUS.03   |
| 55           | BOA       | CAR      | 61                | BOA       | CAR      |
| 90           | ÓTIMA     | JAC.01   | 89                | ÓTIMA     | JAC.01   |
| 87           | ÓTIMA     | JAC.02   | 87                | ÓTIMA     | JAC.02   |
| 84           | ÓTIMA     | CRC      | 86                | ÓTIMA     | CRC      |
| 85           | ÓTIMA     | TEO.01   | 94                | ÓTIMA     | TEO.01   |
| 93           | ÓTIMA     | JAT I.01 | 93                | ÓTIMA     | TEO.02   |
| 91           | ÓTIMA     | CEA.01   | 92                | ÓTIMA     | JAT I.01 |
| 40           | ACEITÁVEL | JAT II   | 94                | ÓTIMA     | JAT I.02 |
| 48           | ACEITÁVEL | BEL      | 84                | ÓTIMA     | CEA.01   |
| 85           | ÓTIMA     | JAM      | 73                | BOA       | CEA.02   |
| 78           | BOA       | LC.01    | 47                | ACEITÁVEL | JAT II   |
|              |           |          | 49                | ACEITÁVEL | BEL      |
|              |           |          | 85                | ÓTIMA     | JAM      |
|              |           |          | 84                | ÓTIMA     | LC.01    |

### 5.1.9.6 - Ordenação espacial das variáveis limnológicas

A fim de caracterizar e identificar as estações de coleta de acordo com as variáveis limnológicas ao longo do segundo ano da operação, foi utilizada uma análise de componentes principais (ACP). Foram realizadas duas ACPs: uma para o rio Madeira e outra para os tributários mais o lago Cuniã. A ACP foi gerada de forma a tentar identificar padrões sazonais nas estações de monitoramento.

No rio Madeira, os dois primeiros eixos da ACP explicaram 66,5% da variabilidade dos dados. A partir da ACP, é possível perceber que a sazonalidade característica do rio Madeira ficou mantida mesmo com a operação do reservatório, uma vez que as estações se agruparam em função do período do ciclo hidrológico (Figura 5-66). Os períodos de vazante e águas baixas foram bastante semelhantes entre si, ao passo que o período de enchente foi o mais distinto, principalmente em função dos valores mais altos de fósforo, nitrogênio, sólidos totais dissolvidos, coliformes e turbidez. Nos tributários e lago Cuniã, por outro lado, nenhum padrão nítido pode ser detectado a partir da ACP, sendo que há grande variação nos dados (Figura 5-67). Essa variação acontece porque esses ambientes são distintos e possuem bacias de drenagem distintas, e conseqüentemente as características de suas águas variam bastante.

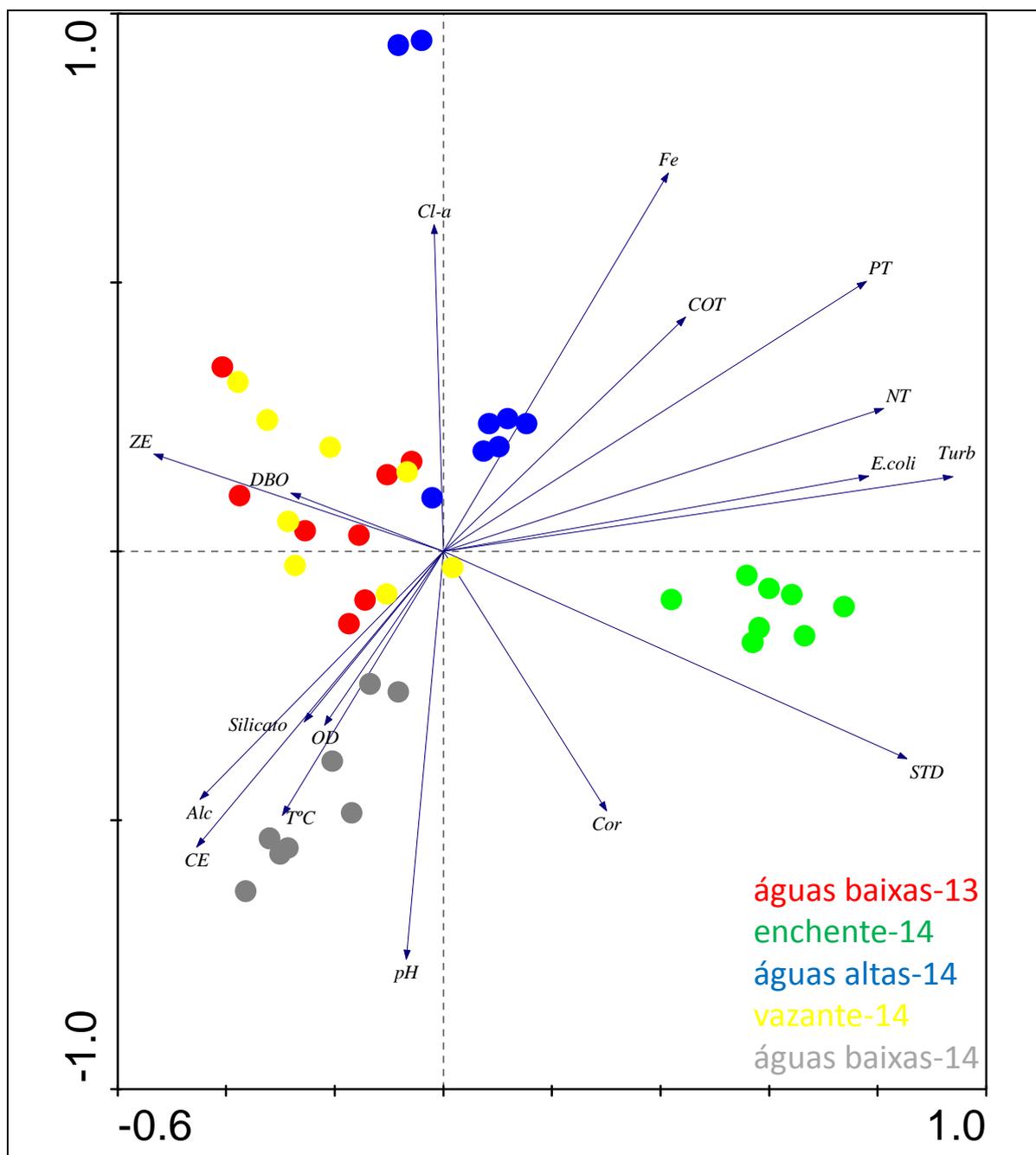


Figura 5-66 - Posição das estações de coleta do rio Madeira ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da ACP durante os períodos de águas baixas/2013, enchente/2014, águas altas/2014, vazante/2014 e águas baixas/2014. A explicabilidade dos dois primeiros eixos foi de 66,5% (Eixo 1: 49,5%; Eixo 2: 17%). As siglas significam: T°C: temperatura da água, ZE: zona eufótica, Cond: condutividade elétrica, pH: potencial hidrogeniônico, Turb: turbidez, OD: oxigênio dissolvido, STD: sólidos totais dissolvidos, DBO: demanda bioquímica de oxigênio, COT: carbono orgânico total, Alc: alcalinidade, NT: nitrogênio total, PT: fósforo total, Cor: cor dissolvida, Cl-a: clorofila *a*, Fe: ferro dissolvido, E.coli: *Escherichia coli*.

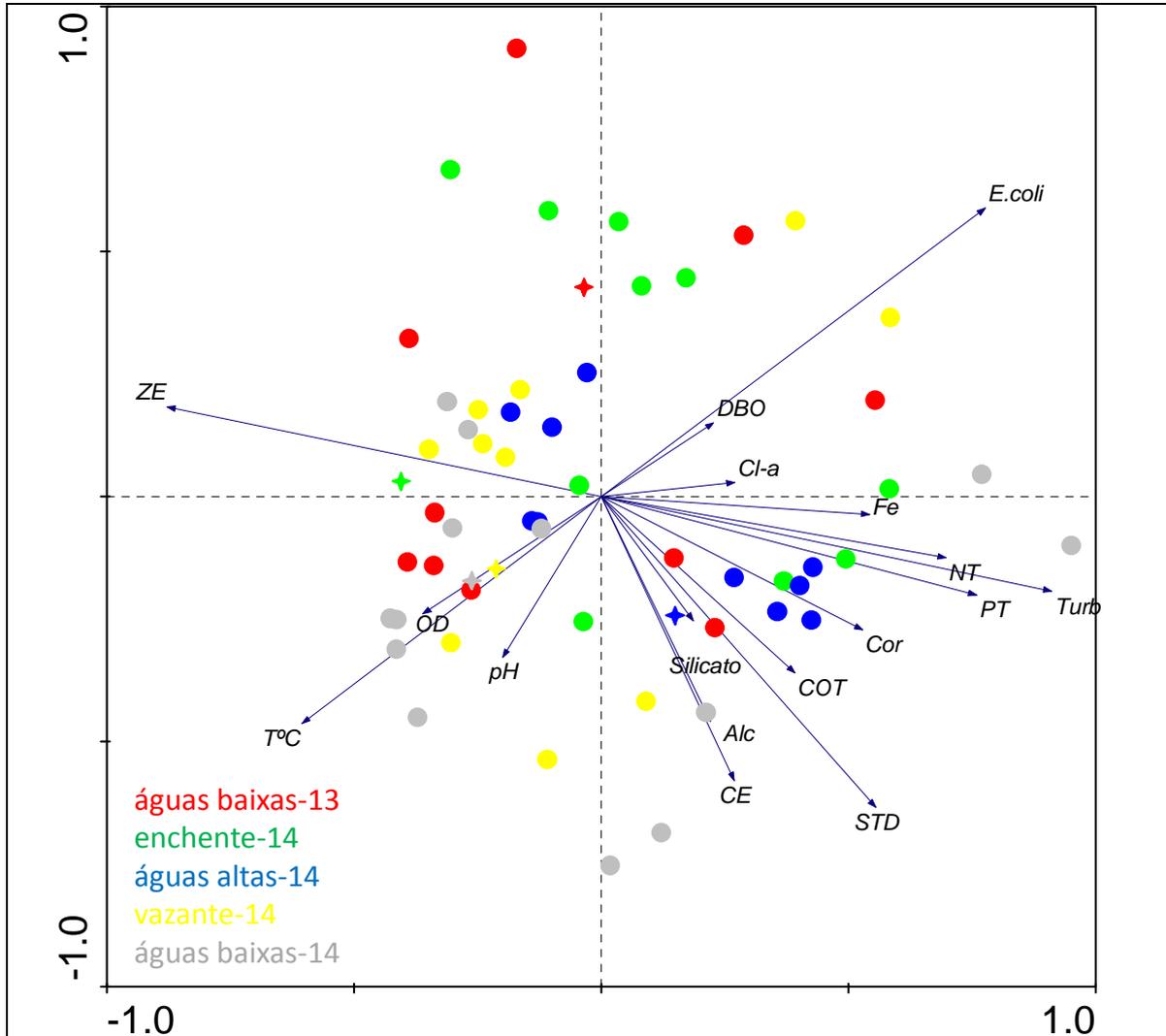


Figura 5-67 - Posição das estações de coleta dos tributários (círculos) e lago Cuniã (estrelas) ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da ACP durante os períodos de águas baixas/2013, enchente/2014, águas altas/2014, vazante/2014 e águas baixas/2014. A explicabilidade dos dois primeiros eixos foi de 64,5% (Eixo 1: 46,5%; Eixo 2: 18%). As siglas significam: T°C: temperatura da água, ZE: zona eufótica, Cond: condutividade elétrica, pH: potencial hidrogeniônico, Turb: turbidez, OD: oxigênio dissolvido, STD: sólidos totais dissolvidos, DBO: demanda bioquímica de oxigênio, COT: carbono orgânico total, Alc: alcalinidade, NT: nitrogênio total, PT: fósforo total, Cor: cor dissolvida, Cl-a: clorofila *a*, Fe: ferro dissolvido, E.coli: *Escherichia coli*.

### 5.1.9.7 - Comparação das diferentes fases do empreendimento

O rio Madeira e seus tributários, que tendem a sofrer maior influência do empreendimento, foram alvo de uma análise estatística comparando as fases do empreendimento. Para essa comparação, foram selecionadas as variáveis de maior importância ambiental no escopo do presente estudo. Foram comparadas as fases de pré e pós enchimento no rio Madeira e

tributários, separando montante de jusante, por meio de testes de Kruskal-Wallis seguidos de pós-testes de Tukey. Não foi realizada a comparação entre fases para as variáveis que apresentaram valores abaixo do LQ a maior parte do tempo. Para os íons, em particular, foram utilizados diagramas ternários para comparação da composição iônica nas diferentes fases.

Na comparação entre as fases do empreendimento, a condutividade elétrica não variou no rio Madeira. Já nos tributários, não houve diferença entre pré e pós-enchimento nas estações de jusante, mas os tributários de montante apresentam aumento da condutividade após o barramento (Figura 5-68). O aumento da condutividade nos tributários após o barramento está ligado à entrada de água do rio Madeira, que tem maior condutividade.

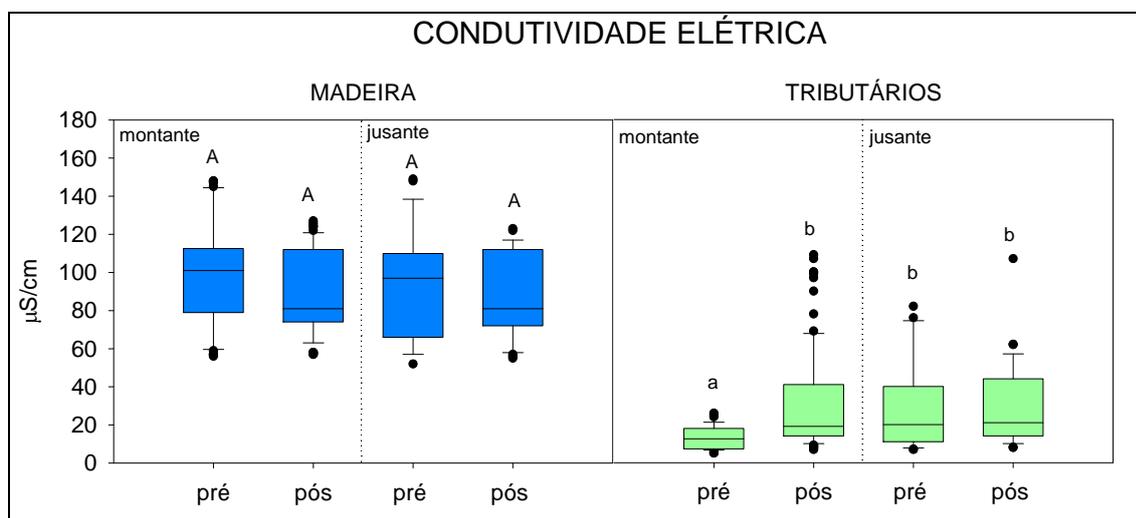


Figura 5-68 - Box-plots da variação da condutividade elétrica no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as diferentes fases do empreendimento, não houve mudança do pH nem no Madeira nem nos sistemas tributários (Figura 5-69). No rio Madeira, o pH ficou sempre dentro da faixa de 6 a 9 preconizada para corpos de água doce da classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, ao passo que os tributários apresentaram geralmente valores mais ácidos, ocasionalmente inferiores a 6.

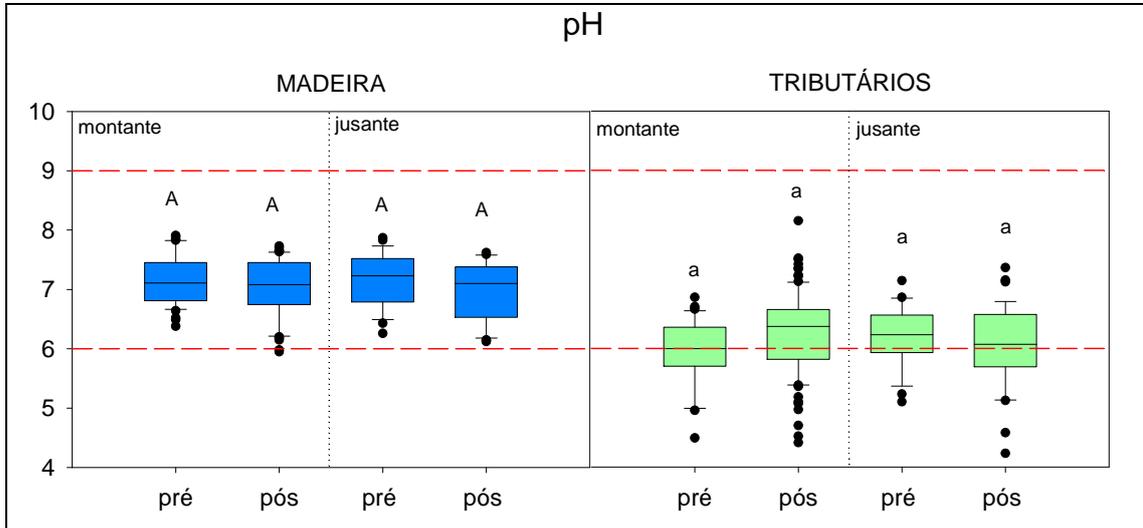


Figura 5-69 - Box-plots da variação do pH no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório. As linhas vermelhas indicam o intervalo preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Na comparação entre as diferentes fases do empreendimento, não houve mudança da turbidez nem no Madeira nem nos sistemas tributários (Figura 5-70). No rio Madeira, a turbidez foi sempre maior do que 100 NTU, limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005, mas essa é uma condição natural desse rio, que é um rio originado nos terrenos jovens e altamente erosíveis da cordilheira dos Andes. Os tributários, que são geralmente de águas claras, apresentaram turbidez menos elevada.

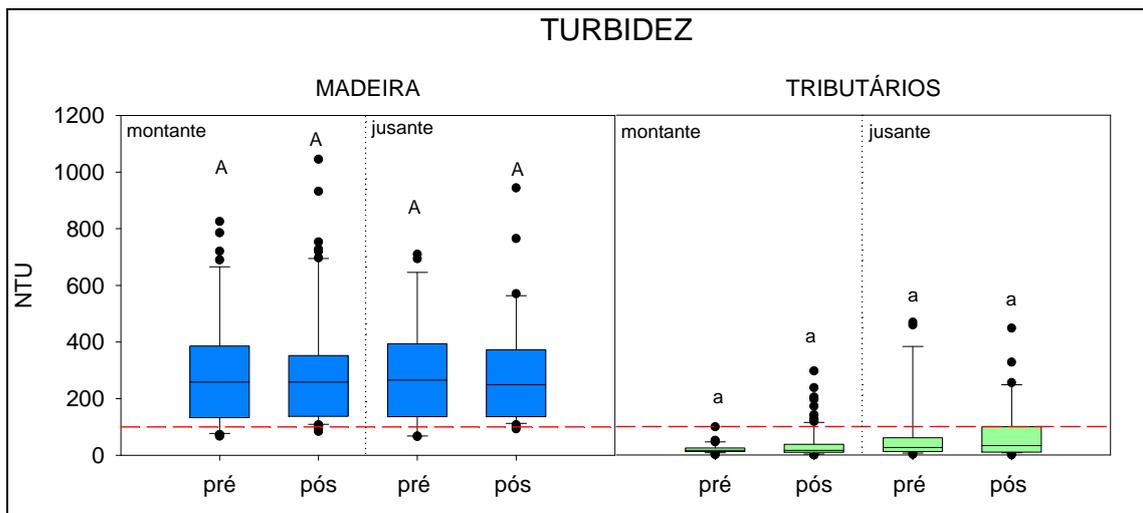


Figura 5-70 - Box-plots da variação da turbidez no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório. A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Na comparação entre as fases do empreendimento, as concentrações de oxigênio dissolvido aumentaram nas estações de jusante do rio Madeira após o barramento (Figura 5-71). A passagem turbulenta da água pelos vertedouros e turbinas favorece a difusão de oxigênio da atmosfera para a água. Já nos tributários, houve diminuição das concentrações nos sistemas situados a montante, possivelmente como resposta à degradação da matéria orgânica inundada.

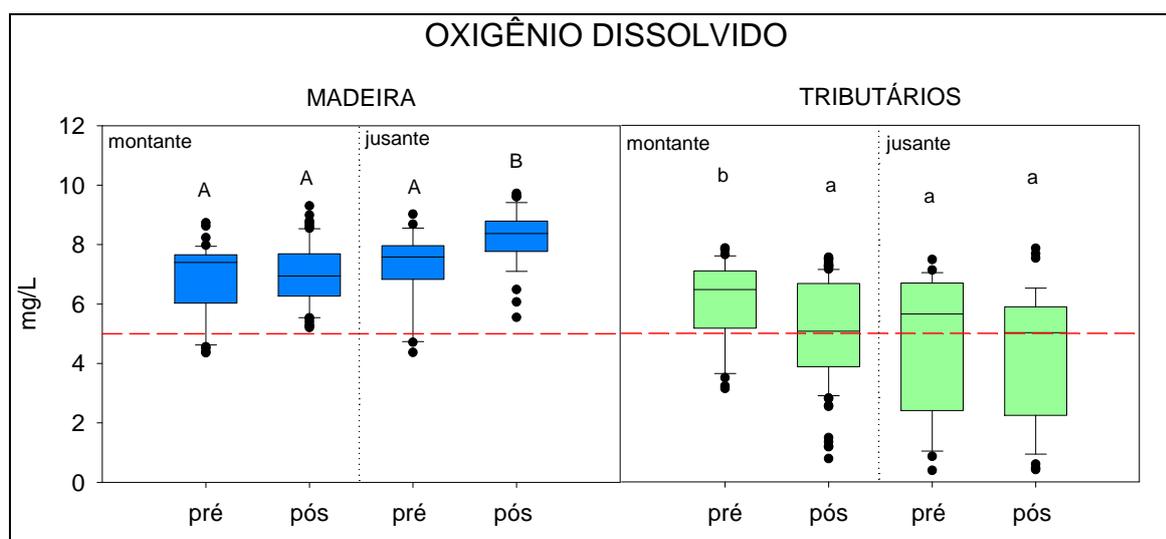


Figura 5-71 - Box-plots da variação das concentrações de oxigênio dissolvido no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório. A linha vermelha indica o limite mínimo preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Na comparação entre as fases do empreendimento, a DBO não se alterou na calha central do rio Madeira. Nos tributários, por outro lado, houve aumento no pós-enchimento, tanto a montante quanto a jusante (Figura 5-72). O aumento, principalmente a montante, pode ter relação com o alagamento de matéria orgânica terrestre durante a formação do reservatório.

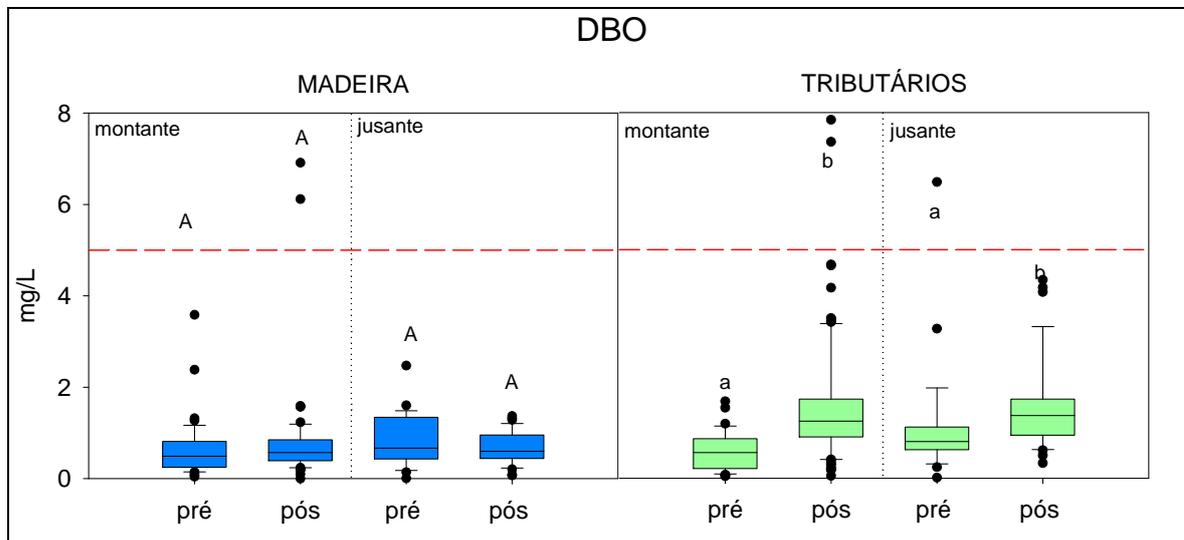


Figura 5-72 - Box-plots da variação da DBO no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório. A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Na comparação entre as fases do empreendimento, o carbono orgânico total não se alterou na calha central do rio Madeira. Nos tributários, por outro lado, houve aumento no pós-enchimento, tanto a montante quanto a jusante (Figura 5-73). O aumento, principalmente a montante, pode ter relação com o alagamento de matéria orgânica terrestre durante a formação do reservatório. Já com relação ao carbono inorgânico, também não houve mudança no rio Madeira, ao passo que os tributários tenderam a apresentar concentrações maiores após o barramento (Figura 5-74). O aumento do carbono inorgânico nos tributários pode ter relação tanto com o aumento da respiração quanto com a entrada de águas do rio Madeira, mais rico em carbono inorgânico.

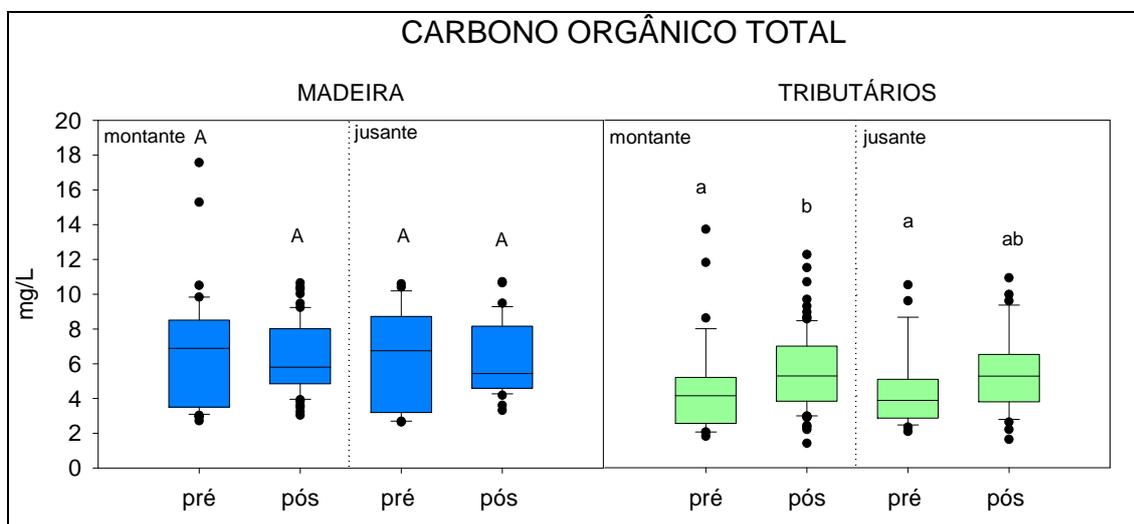


Figura 5-73 - Box-plots da variação das concentrações de carbono orgânico total no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

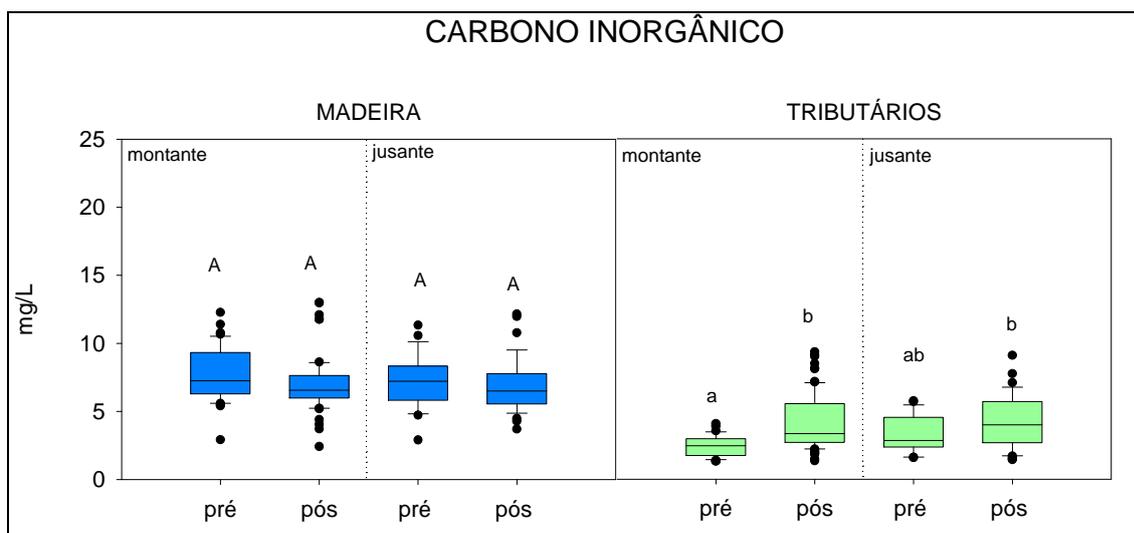


Figura 5-74 - Box-plots da variação das concentrações de carbono inorgânico no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, as concentrações de nitrato e nitrogênio total foram maiores após o represamento tanto no rio Madeira como nos tributários, nas estações de montante e jusante (Figura 5-75 e Figura 5-76). Essa mudança está ligada possivelmente à mudança do método analítico para análise de nitrato após o enchimento. Isso está em consonância com o fato de que as outras espécies inorgânicas (nitrito e nitrogênio amoniacal)

não mudaram na comparação entre as diferentes fases do empreendimento (Figura 5-77 e Figura 5-78).

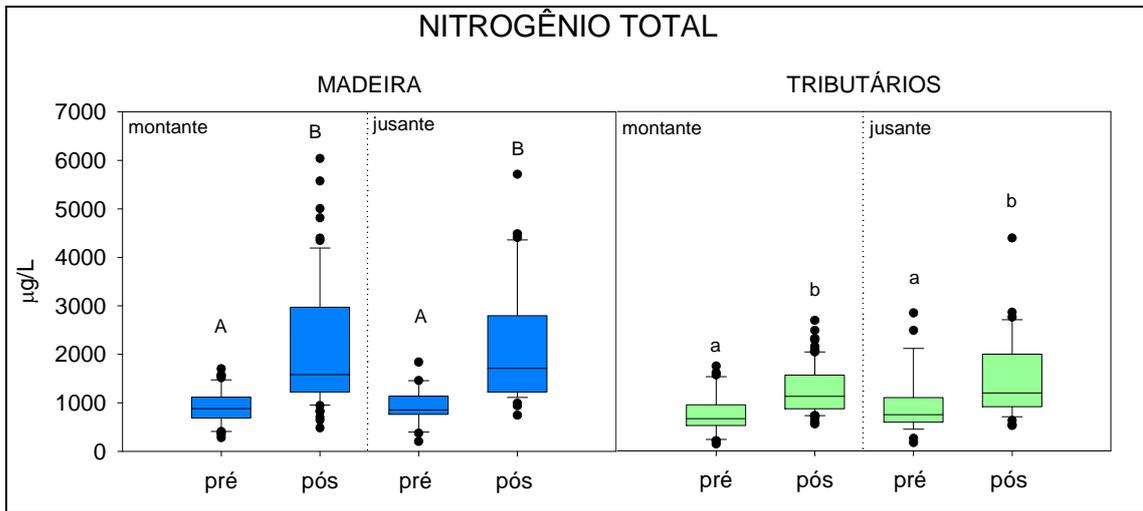


Figura 5-75 - Box-plots da variação das concentrações de nitrogênio total no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

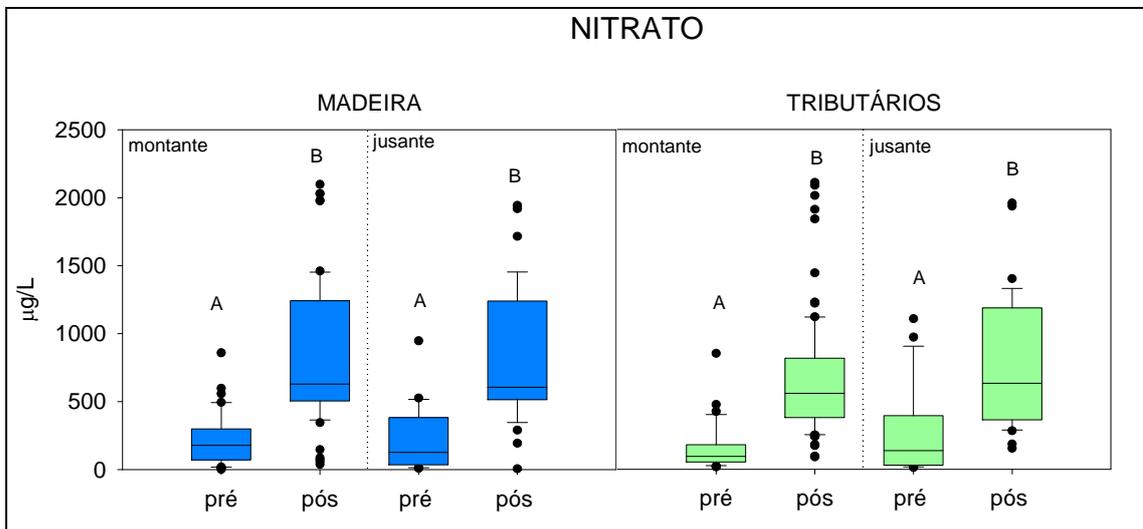


Figura 5-76 - Box-plots da variação das concentrações nitrato no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

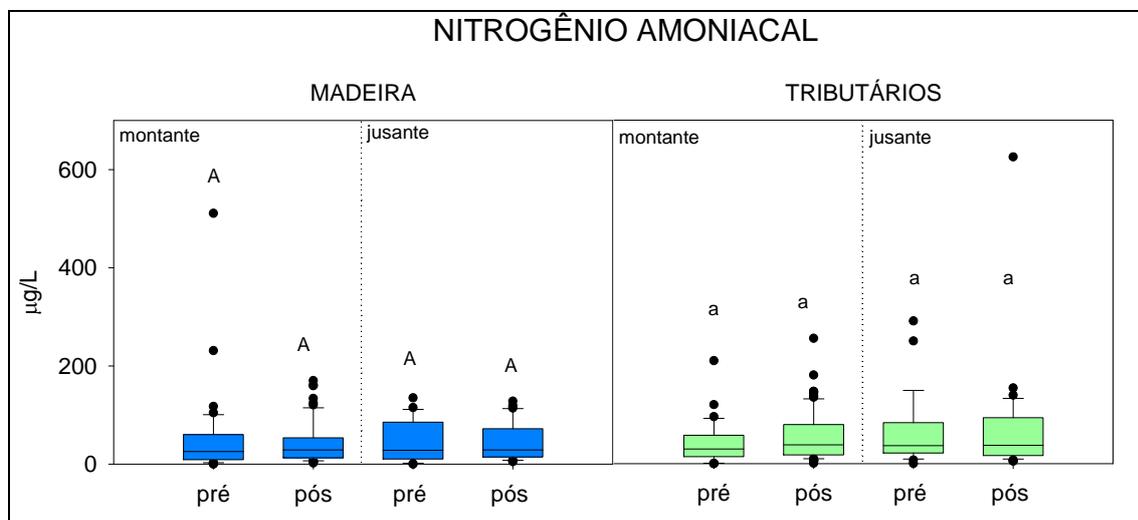


Figura 5-77 - Box-plots da variação das concentrações de nitrogênio amoniacal no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

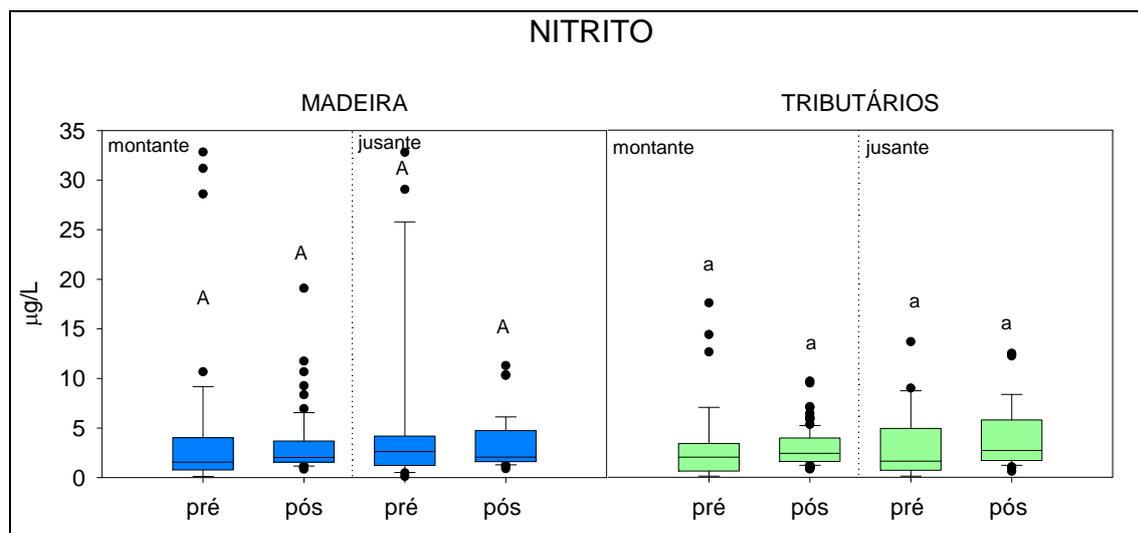


Figura 5-78 - Box-plots da variação das concentrações de nitrito no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, as concentrações de fósforo total e ortofosfato permaneceram constantes, não havendo distinção entre pré e pós enchimento nem nos tributários nem no rio Madeira (Figura 5-79 e Figura 5-80).

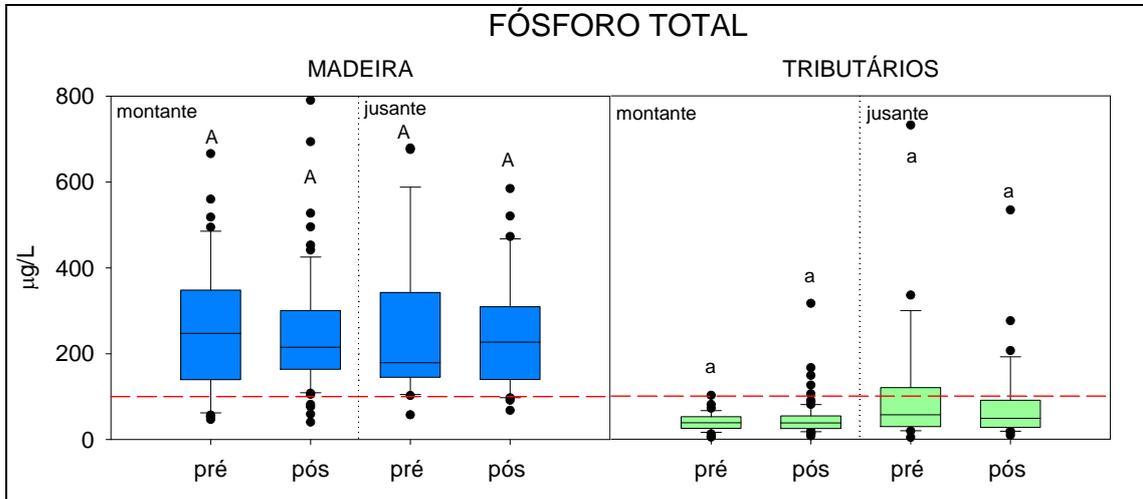


Figura 5-79 - Box-plots da variação das concentrações de fósforo total no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório. A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

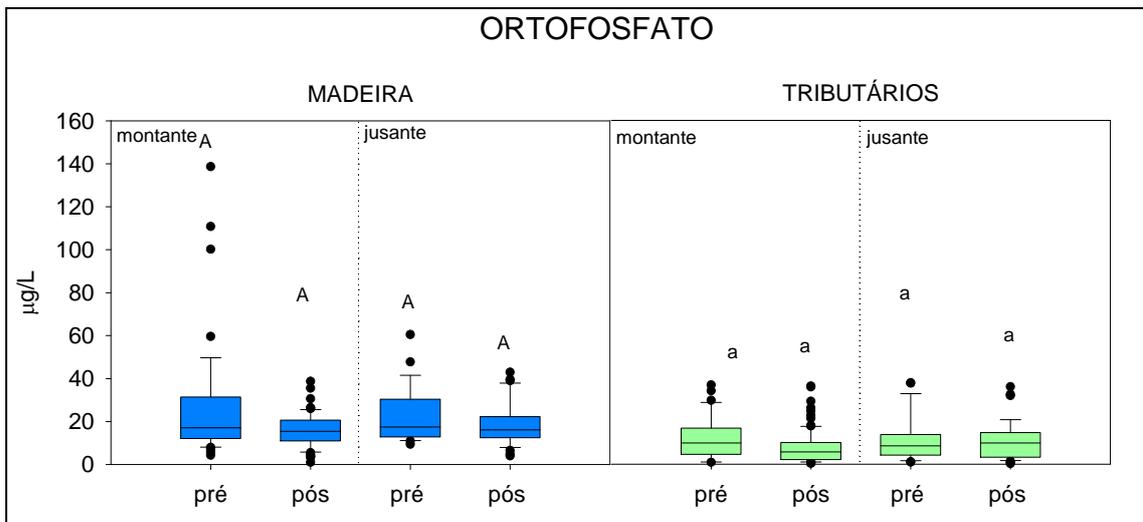


Figura 5-80 - Box-plots da variação das concentrações de ortofosfato no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, as concentrações de clorofila permaneceram constantes, não havendo distinção entre pré e pós enchimento nem nos tributários nem no rio Madeira (Figura 5-81).

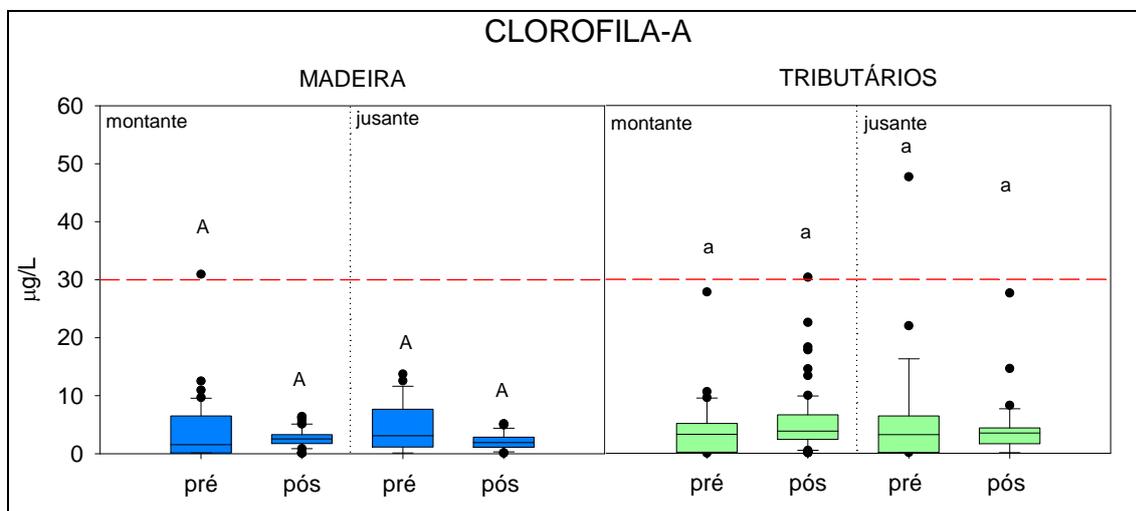


Figura 5-81 - Box-plots da variação das concentrações de clorofila-a no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório. A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Na comparação entre as fases do empreendimento, os valores de *E. coli* não se alteraram na calha central do rio Madeira. Nos tributários, por outro lado, houve aumento no pós-enchimento, tanto a montante quanto a jusante (Figura 5-82).

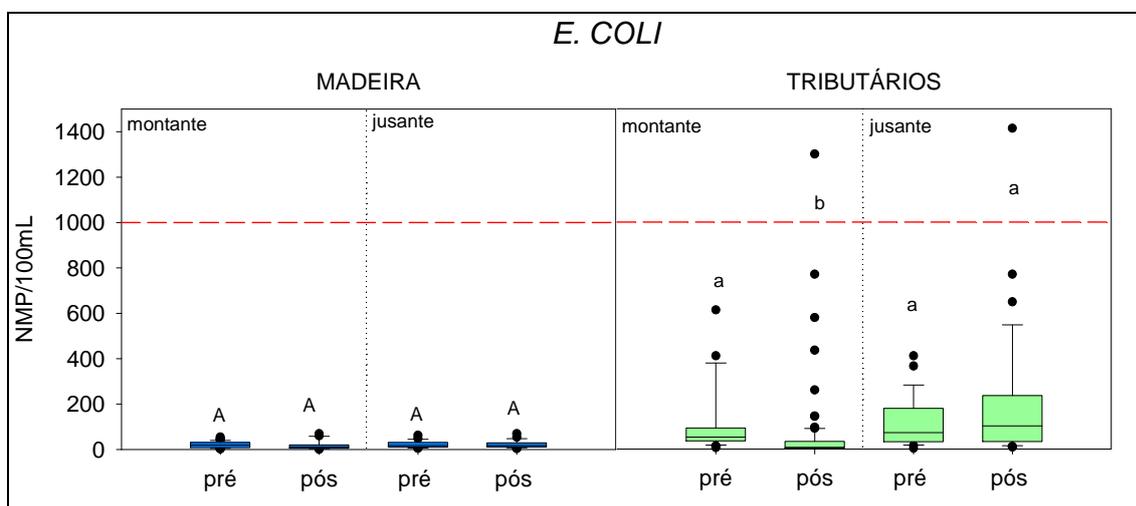


Figura 5-82 - Box-plots da variação da *E. coli* no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório. A linha vermelha indica o limite preconizado para corpos de água doce da classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Na comparação entre as fases do empreendimento, as concentrações de sólidos em suspensão não se alteraram na calha central do Madeira. Nos tributários, por outro lado, houve distinção. Tributários de montante no pré-enchimento se assemelharam a todos os outros sistemas; ao passo que os tributários de jusante foram semelhantes nas fases pré e pós enchimento, mas ambas diferiram do pós enchimento a montante (Figura 5-83). Com relação aos sólidos totais dissolvidos, ocorreu o oposto: não houve distinção entre as fases nos tributários, mas sim no rio Madeira, onde houve uma tendência de diminuição das concentrações após o barramento (Figura 5-84).

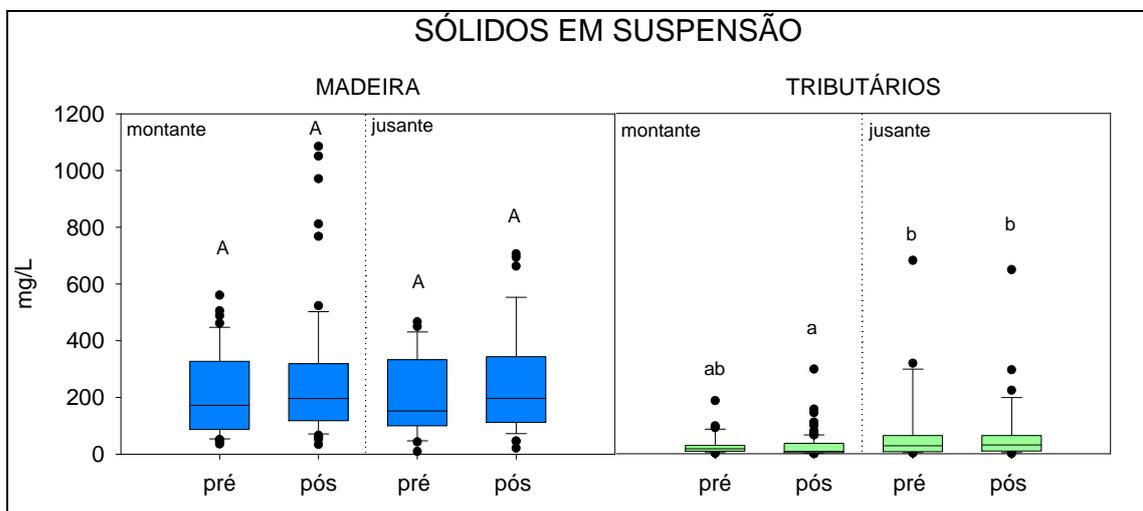


Figura 5-83 - Box-plots da variação das concentrações de sólidos em suspensão no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

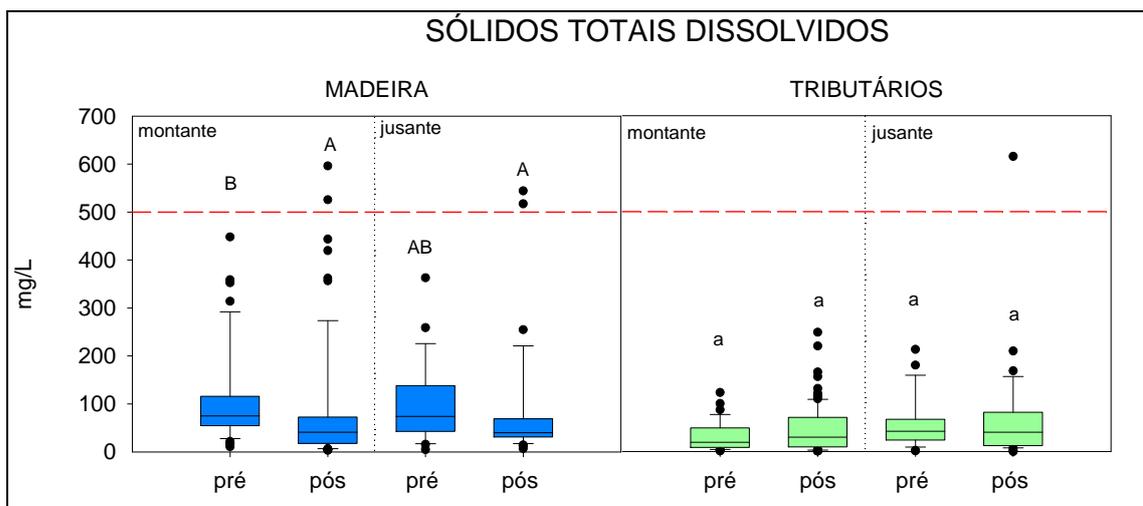


Figura 5-84 - Box-plots da variação das concentrações de sólidos totais dissolvidos no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, as concentrações de ferro dissolvido não se alteraram na calha central do rio Madeira. Nos tributários, por outro lado, houve aumento no pós-enchimento, tanto a montante quanto a jusante (Figura 5-85).

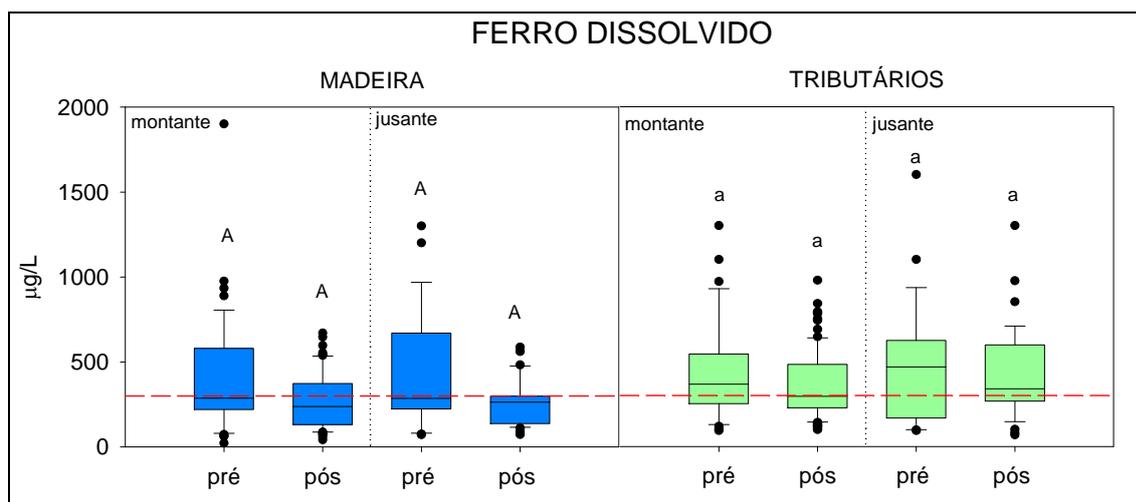


Figura 5-85 - Box-plots da variação das concentrações de ferro dissolvido no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, as concentrações de cromo aumentaram no rio Madeira após o enchimento, tanto a montante como a jusante. Nos tributários, os sistemas de montante não apresentaram distinção entre as fases, mas houve aumento das concentrações nos tributários de jusante (Figura 5-86). Esses valores mais elevados no pós-enchimento estão possivelmente atrelados ao pico observado na enchente de 2014, quando o índice de pluviosidade foi recorde na bacia do rio Madeira. Índices mais elevados de chuva fazem com que mais elementos-traço sejam carreados para os ecossistemas aquáticos.

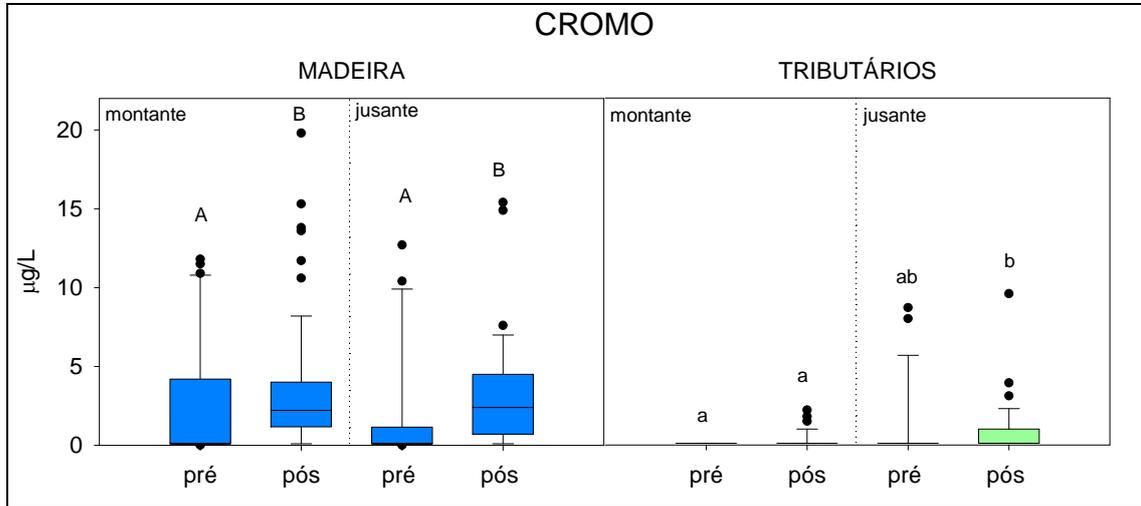


Figura 5-86 - Box-plots da variação das concentrações de cromo no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Assim como para o cromo, ao comparar as concentrações de chumbo entre as diferentes fases do empreendimento, também foi percebida uma tendência de aumento (Figura 5-87). Esses valores mais elevados no pós-enchimento estão possivelmente atrelados ao pico observado na enchente de 2014, quando o índice de pluviosidade foi recorde na bacia do rio Madeira. Índices mais elevados de chuva fazem com que mais elementos-traço sejam carreados para os ecossistemas aquáticos.

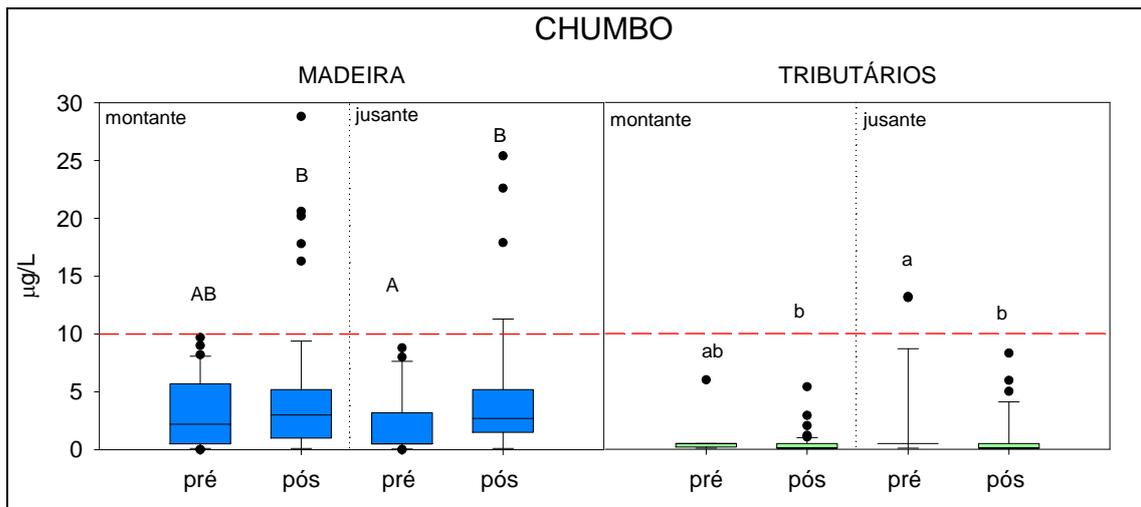


Figura 5-87 - Box-plots da variação das concentrações de chumbo no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Comparando as diferentes fases do empreendimento, houve tendência de aumento das concentrações de níquel após o enchimento no Madeira, mas nos tributários não houve distinção entre as fases (Figura 5-88). Esses valores mais elevados no pós-enchimento estão possivelmente atrelados ao pico observado na enchente de 2014, quando o índice de pluviosidade foi recorde na bacia do rio Madeira. Índices mais elevados de chuva fazem com que mais elementos-traço sejam carregados para os ecossistemas aquáticos.

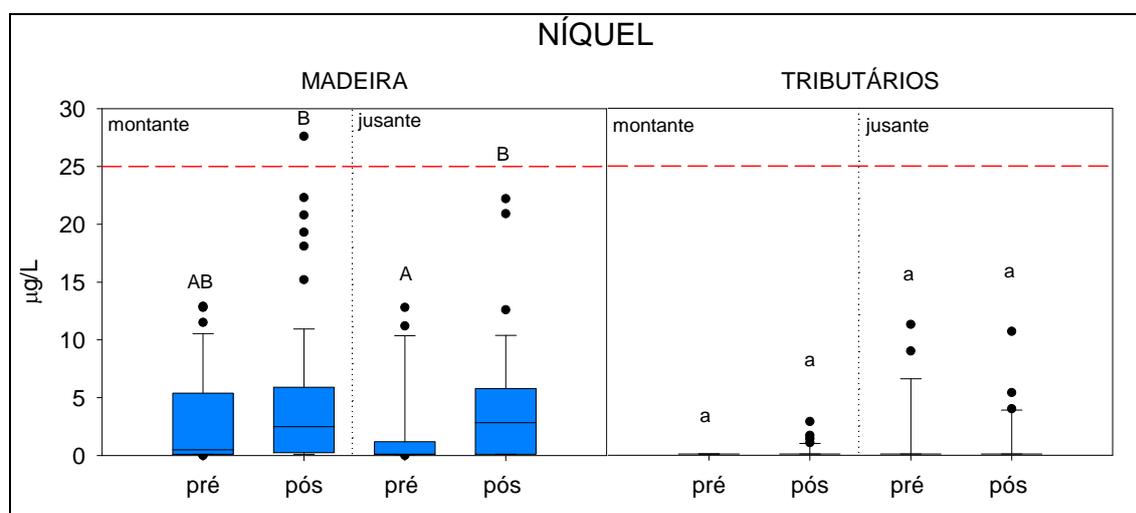


Figura 5-88 - Box-plots da variação das concentrações de níquel no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, não houve distinção nas concentrações de manganês no rio Madeira. Nos tributários, as concentrações nos sistemas de montante durante o pré-enchimento foram significativamente menores do que em todos os outros compartimentos (Figura 5-89).

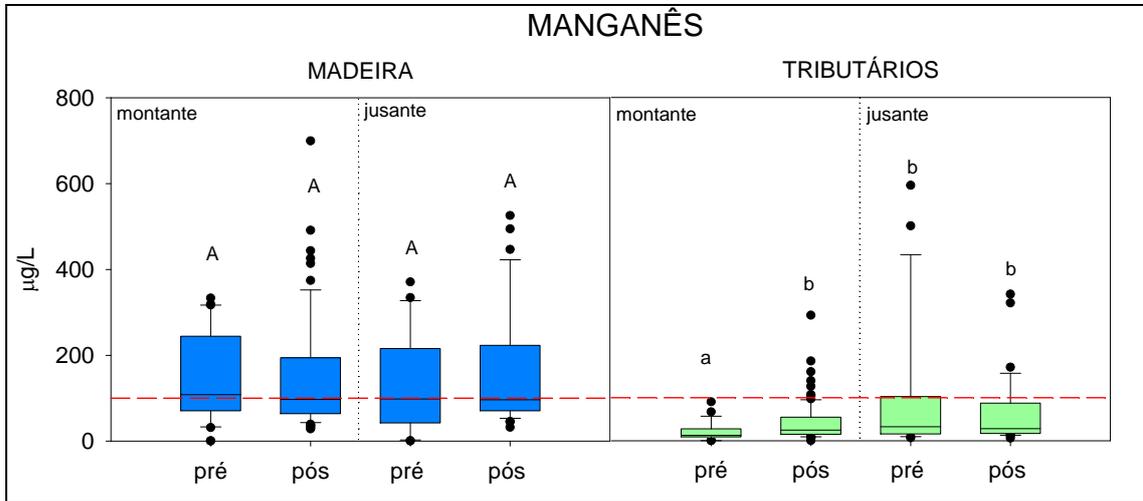


Figura 5-89 - Box-plots da variação das concentrações de manganês no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, não houve distinção nas concentrações de zinco, nem no Madeira nem nos tributários (Figura 5-90).

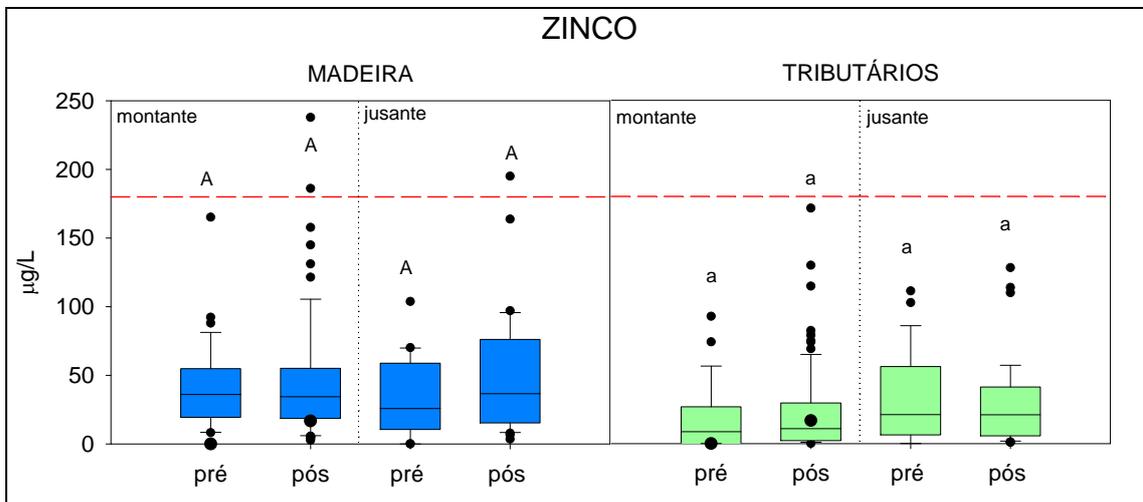


Figura 5-90 - Box-plots da variação das concentrações de zinco no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases, houve tendência de aumento da alcalinidade tanto no rio Madeira como nos tributários após o enchimento (Figura 5-91).

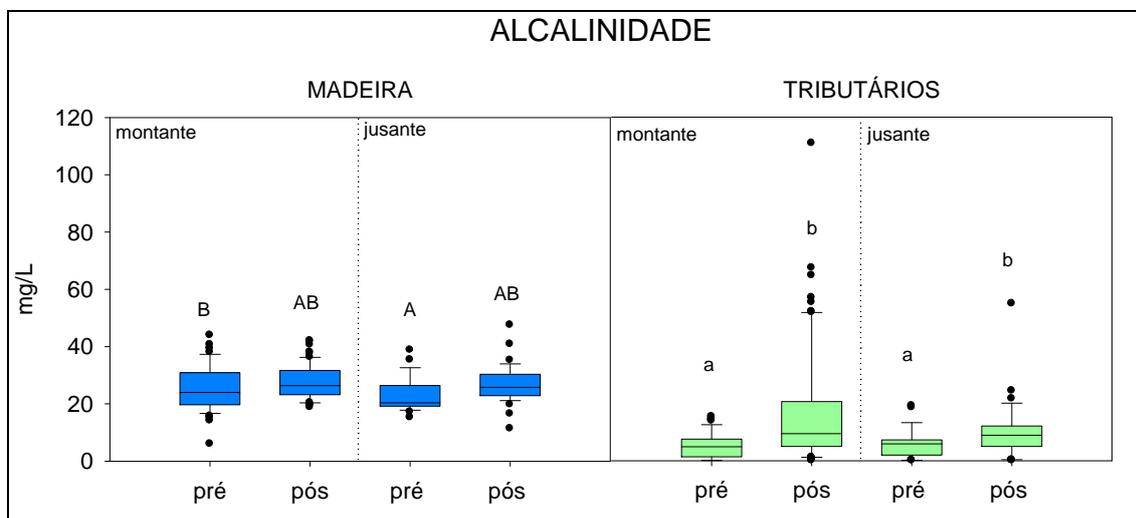


Figura 5-91 - Box-plots da variação da alcalinidade no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, a DQO não apresentou distinção no rio Madeira, mas houve tendência de aumento nos tributários após o enchimento (Figura 5-92).

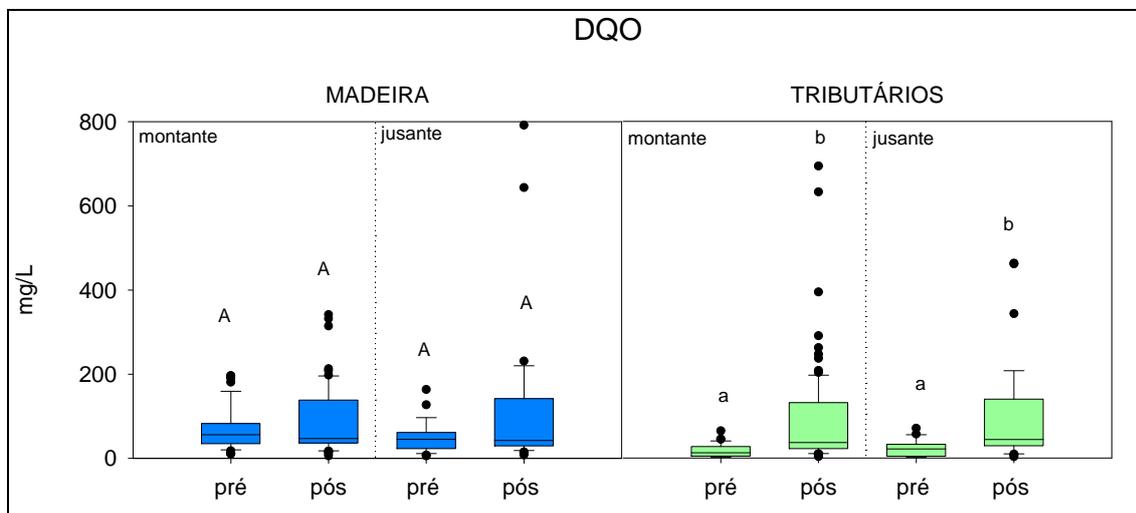


Figura 5-92 - Box-plots da variação da DQO no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Na comparação entre as fases do empreendimento, não houve distinção das concentrações de silicatos reativos nem no rio Madeira nem nos tributários (Figura 5-93).

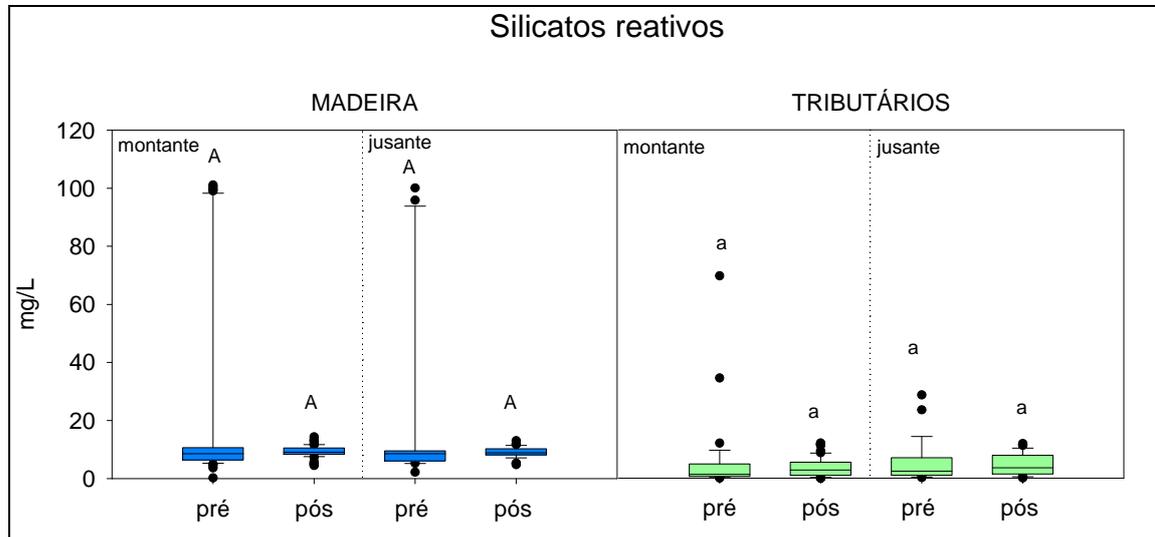


Figura 5-93 - Box-plots da variação das concentrações de silicatos reativos no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório.

Para comparação dos íons entre as fases do empreendimento, foram utilizados diagramas ternários, que representam graficamente as razões de três variáveis que somam 100%. Os gráficos mostraram que, para os cátions, não houve alteração da composição no rio Madeira, e houve equivalência entre os diferentes cátions para a abundância total. Nos tributários, por outro lado, houve predominância de sódio e potássio. É interessante notar que após o enchimento os tributários passaram a apresentar maior equivalência entre os cátions, o que é reflexo da entrada de águas do rio Madeira (Figura 5-94). Com relação aos ânions, os diagramas ternários apontam para uma dominância de bicarbonatos tanto no rio Madeira como nos tributários, e a formação do reservatório não parece ter modificado a dinâmica dos ânions (Figura 5-95).

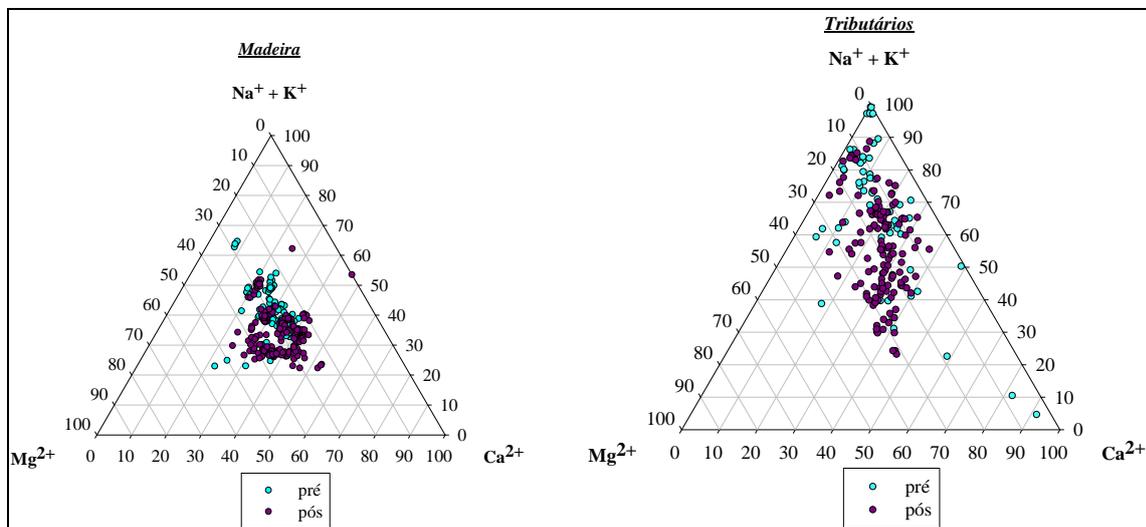


Figura 5-94 - Diagramas ternários da abundância de cátions no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório (junho de 2009 e outubro de 2014).

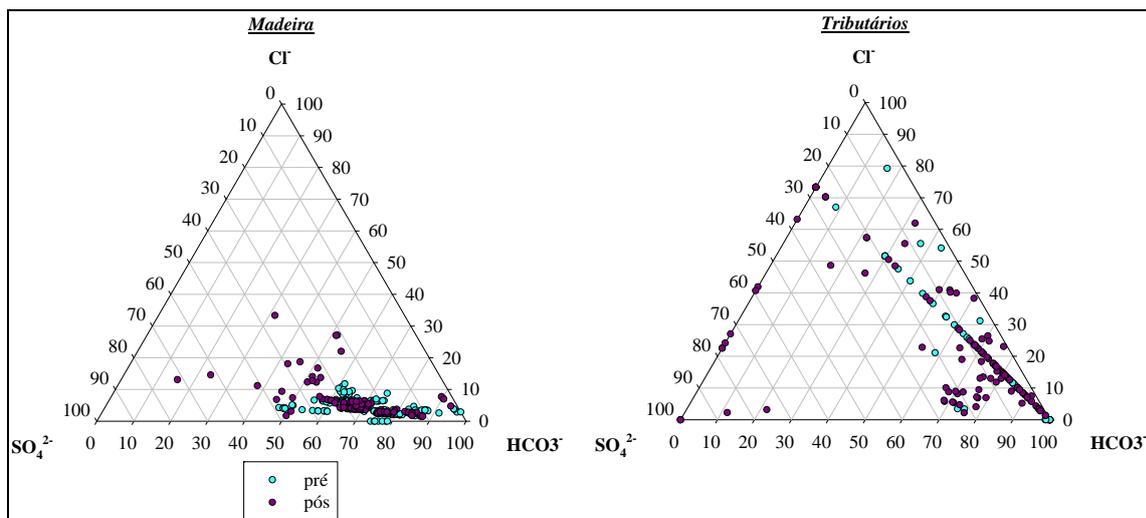


Figura 5-95 - Diagramas ternários da abundância de ânions no rio Madeira e nos tributários ao longo das fases de pré e pós-enchimento do reservatório (junho de 2009 e outubro de 2014).