

ÍNDICE

5.2.4 -	Sedimentos	1/28
5.2.4.1 -	Granulometria	1/28
5.2.4.2 -	Matéria orgânica, carbono orgânico total e teores de cinzas	4/28
5.2.4.3 -	Nutrientes: nitrogênio e fósforo	8/28
5.2.4.4 -	Macronutrientes: sódio, potássio, cálcio e magnésio	11/28
5.2.4.5 -	Elementos-traço	14/28
5.2.4.6 -	Compostos orgânicos (biocidas)	27/28
5.2.4.7 -	Discussão	27/28

5.2.4 - Sedimentos

Neste relatório trimestral, serão apresentados para cada variável, gráficos de barra com os resultados obtidos na campanha de águas baixas de 2013 (outubro). Para as variáveis avaliadas e cujos dados não ficaram abaixo do limite de quantificação na maior parte do tempo, foi feita uma comparação entre as fases do empreendimento: pré-enchimento (instalação); enchimento/estabilização e operação, relacionado somente ao período de águas baixas. Para essa análise, foram selecionadas as variáveis de maior relevância (i.e. aquelas constates na Resolução CONAMA 454/2012).

Foram aplicados testes de variância (One Way ANOVA), seguidos de pós-teste de Tukey quando foi observada diferença significativa. Os valores foram logaritimizados quando necessário para atendimento às premissas da análise (homocedasticidade e distribuição normal). A hipótese nula foi de que os valores eram iguais entre as diferentes fases. Um nível de significância (p) de 0,05 foi adotado para rejeição das hipóteses. Isso significa que sempre que o p foi inferior a 0,05 a hipótese foi rejeitada. A rejeição da hipótese indica haver diferença entre os períodos.

5.2.4.1 - Granulometria

O sedimento de fundo dos corpos d'água é fruto da interação, ao longo do tempo, do intemperismo das rochas, de deposições de origem orgânica e precipitação química. Esta deposição pode ter origem alóctone e/ou autóctone e sua proporção pode variar de acordo com as características ambientais (Mozeto, 2004). Segundo Singh *et al.* (2004), sedimentos finos possuem uma maior capacidade de retenção de poluentes, como metais pesados e hidrocarbonetos.

Em relação aos resultados de granulometria obtidos na avaliação realizada no período de águas baixas de 2013 (outubro), observou-se uma predominância de frações mais finas como silte, seguida das frações de areia muito fina e fina, em todas as estações localizadas no rio Madeira e tributários, a exceção de CAR e TEO.01, onde predominaram frações de areia grossa e muito grossa (Figura 5.2.4-1).

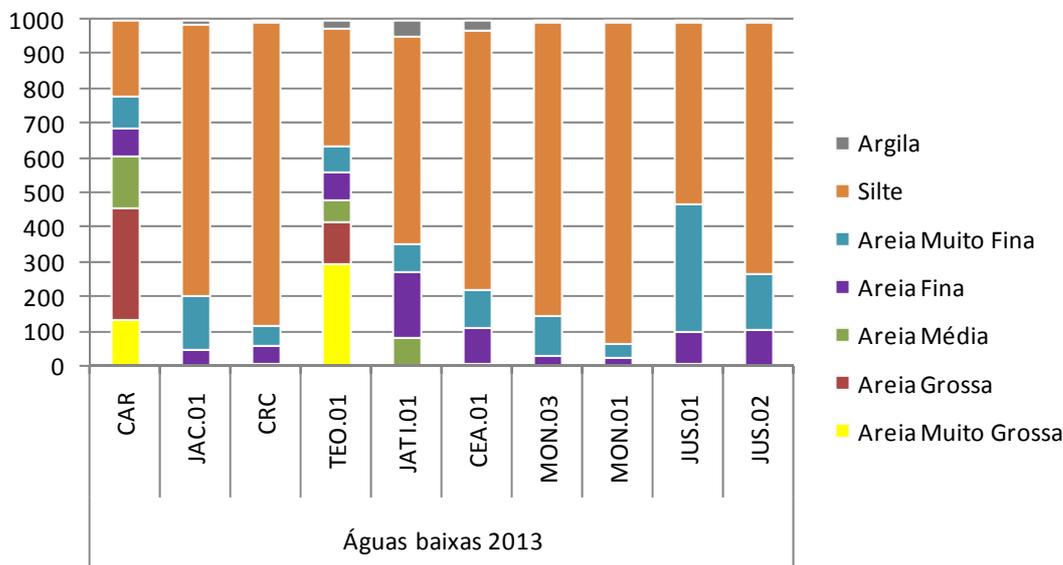


Figura 5.2.4-1 - Granulometria dos sedimentos amostrados no período de águas baixas de 2013 (outubro).

As frações areia muito grossa (2 a 1 mm) e grossa (1 a 0,5 mm) só foram registradas nos sedimentos de fundo das estações CAR (136 g/Kg e 323 g/kg, respectivamente) e TEO.01 (298 g/kg e 121 g/kg, respectivamente). Durante as campanhas realizadas no período de junho de 2009 a agosto de 2011 (fase de pré-enchimento), a concentração média da fração areia muito grossa foi de $93,6 \pm 210,5$ g/kg (média \pm DP) nos tributários, ao passo que no rio Madeira as estações JUS.02 e JUS.01 foram as únicas que registraram a ocorrência de areia muito grossa, nos períodos de enchente de 2010 e vazante de 2011, respectivamente. Durante as campanhas realizadas na fase de enchimento + estabilização (outubro/2011 a junho/2012), a concentração média da fração areia muito grossa foi de $37,4 \pm 130,0$ g/kg (média \pm DP) nos tributários, ao passo que no rio Madeira apenas a estação MON.01 registrou a ocorrência de areia muito grossa, em abril de 2012.

A fração de areia grossa durante as campanhas realizadas no período de junho de 2009 a agosto de 2011 (fase de pré-enchimento), a concentração média foi de $105,0 \pm 154,1$ g/kg (média \pm DP) nos tributários, ao passo que no rio Madeira a variação foi entre 0 - 170 g/kg (mínimo - máximo), sendo que essa fração foi predominante na estação JUS.02. Durante as campanhas realizadas na fase de enchimento + estabilização (outubro/2011 a junho/2012), a concentração média da fração areia grossa foi de $41,8 \pm 115,9$ g/kg (média \pm DP) nos tributários, ao passo que no rio Madeira apenas a estação JUS.02 registrou a ocorrência de areia grossa, em dezembro de 2011.

A quantidade de areia média (0,5 a 0,25 mm) nos sedimento de fundo amostrados durante a operação até o momento foi de 49 ± 97 g/kg (média +/- DP). Considerando somente o período de águas baixas de 2013 (outubro) a média foi de 33 ± 20 g/kg, (média \pm DP). Neste período, esta fração não foi encontrada na estação MON.03, apresentado uma pequena quantidade em MON.01 (2 g/kg), JUS.01 (12 g/kg) e JUS.02 (6 g/kg). Durante as campanhas realizadas no período de junho de 2009 a agosto de 2011 (fase de pré-enchimento), a concentração média foi $132,3 \pm 125,5$ g/kg (média \pm DP) nos tributários e $24,5 \pm 39,8$ g/kg (média \pm DP) no rio Madeira. Durante as campanhas realizadas na fase de enchimento + estabilização (outubro/2011 a junho/2012), o teor médio de areia média nos sedimentos amostrados no rio Madeira foi de $3,6 \pm 5,7$ g/kg e nos tributários foi de $30,3 \pm 50,5$ g/kg (média \pm DP).

A quantidade de areia fina (0,25 a 0,125 mm) nos sedimentos de fundo amostrados durante a operação até o momento foi de 67 ± 56 g/kg (média \pm DP). Considerando somente o período de águas baixas de 2013 (outubro) a média foi de 79 ± 46 g/kg, (média \pm DP). Durante as campanhas realizadas no período de junho de 2009 a agosto de 2011 (fase de pré-enchimento), a concentração média foi $140,9 \pm 136,8$ g/kg (média \pm DP) nos tributários e $69,0 \pm 57,6$ g/kg (média \pm DP) no rio Madeira. Durante as campanhas realizadas na fase de enchimento + estabilização (outubro/2011 a junho/2012), o teor médio de areia fina nos sedimentos amostrados no rio Madeira foi de $40,6 \pm 41,4$ g/kg e nos tributários foi de $39,1 \pm 54,1$ g/kg (média \pm DP).

A quantidade de areia muito fina (0,125 a 0,062 mm) nos sedimentos de fundo amostrados durante a operação até o momento foi de 109 ± 106 g/kg (média \pm DP). Considerando somente o período de águas baixas de 2013 (outubro) a média foi de 125 ± 92 g/kg, (média \pm DP). Durante as campanhas realizadas no período de junho de 2009 a agosto de 2011 (fase de pré-enchimento), a concentração média foi $115,4 \pm 88,9$ g/kg (média \pm DP) nos tributários e $187,2 \pm 97,3$ g/kg (média \pm DP) no rio Madeira. Durante as campanhas realizadas na fase de enchimento + estabilização (outubro/2011 a junho/2012), o teor médio de areia muito fina nos sedimentos amostrados no rio Madeira foi de $107,1 \pm 97,2$ g/kg e nos tributários foi de $53,8 \pm 64,3$ g/kg (média \pm DP).

A quantidade de silte (0,062 a 0,00394 mm) nos sedimentos de fundo amostrados durante a operação até o momento foi de 678 ± 282 g/kg (média \pm DP). Considerando somente o período de águas baixas de 2013 (outubro) a quantidade foi de 660 ± 237 g/kg, (média \pm DP). Durante as campanhas realizadas no período de junho de 2009 a agosto de 2011 (fase de pré-enchimento), a concentração média foi $336,7 \pm 264,4$ g/kg (média \pm DP) nos tributários e $566,7 \pm 125,8$ g/kg (média \pm DP) no rio Madeira. Durante as campanhas realizadas na fase de enchimento + estabilização (outubro/2011 a junho/2012), o teor médio de silte nos sedimentos amostrados no rio Madeira foi de $639,5 \pm 127,4$ g/kg e nos tributários foi de $522,9 \pm 262,8$ g/kg (média \pm DP).

A quantidade de argila (0,00394 a 0,0002 mm) nos sedimentos de fundo amostrados durante a operação até o momento foi de 13 ± 20 g/kg (média \pm DP). Considerando somente o período de águas baixas de 2013 (outubro) a quantidade foi de 13 ± 17 g/kg, (média \pm DP). Neste período a estação CAR não apresentou fração de argila. Durante as campanhas realizadas no período de junho de 2009 a agosto de 2011 (fase de pré-enchimento), a concentração média foi $75,8 \pm 69,2$ g/kg (média \pm DP) nos tributários e $109,2 \pm 54,6$ g/kg (média \pm DP) no rio Madeira. Durante as campanhas realizadas na fase de enchimento + estabilização (outubro/2011 a junho/2012), o teor médio de argila nos sedimentos amostrados no rio Madeira foi de $169,9 \pm 94,2$ g/kg e nos tributários foi de $232,2 \pm 163,0$ g/kg (média \pm DP).

5.2.4.2 - Matéria orgânica, carbono orgânico total e teores de cinzas

A determinação de matéria orgânica em amostras ambientais tem merecido atenção de pesquisadores em diversos campos de atividade científica (águas, solos, sedimentos). A importância dessa determinação está associada ao conhecimento da origem, natureza e destino final dessa matéria no ambiente considerado. No caso de um rio, a entrada de matéria orgânica pela bacia de drenagem constitui em uma fonte externa de compostos orgânicos de importância vital para a biota.

Considerando todos os valores de matéria orgânica medidos durante a operação até o momento, a média foi de $4,5 \pm 5,8\%$ p/p (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi $10,83 \pm 10,75\%$ p/p (média \pm DP) (Figura 5.2.4-2). Durante a fase de pré-enchimento o teor de matéria orgânica foi de $2,2 \pm 1,5\%$ p/p, (mediana = 2,0% p/p). Os resultados obtidos tanto no pré-enchimento como na operação permitem caracterizar o sedimento de todas as estações como mineral, com baixo teor de matéria orgânica, entretanto neste período avaliado as estações CRC, TEO.1, JAC.1, JATI.01 e MON.01 apresentaram teor de matéria orgânica acima de 10%, fato este que caracteriza seus respectivos sedimentos como orgânico (ESTEVES, 1998).

Matéria Orgânica

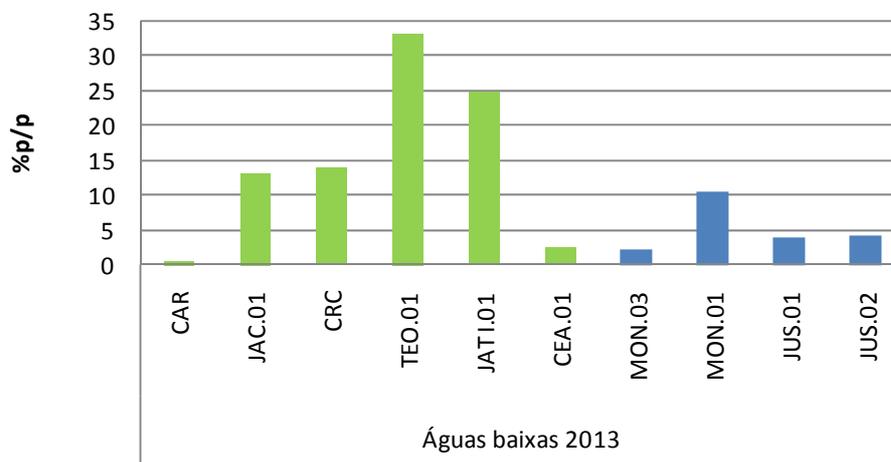


Figura 5.2.4-2 - Concentrações de matéria orgânica nos sedimentos amostrados durante as águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de carbono orgânico total medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de $2,45 \pm 3,30\%$ p/p (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi $6,02 \pm 5,93\%$ p/p (média \pm DP) (Figura 5.2.4-3). Durante a fase de pré-enchimento o teor de carbono orgânico foi de $0,6 \pm 0,6\%$ p/p (mediana = $0,4\%$ p/p).

As concentrações de carbono orgânico total, comparando o período de águas baixas somente, diferiram entre as fases de pré-enchimento e operação, ambas assemelhando-se ao enchimento nos tributários. No rio Madeira, as fases de pré-enchimento e enchimento não se diferenciaram, sendo diferentes da operação, nas estações amostradas. (Figura 5.2.4-3)

Carbono Orgânico Total

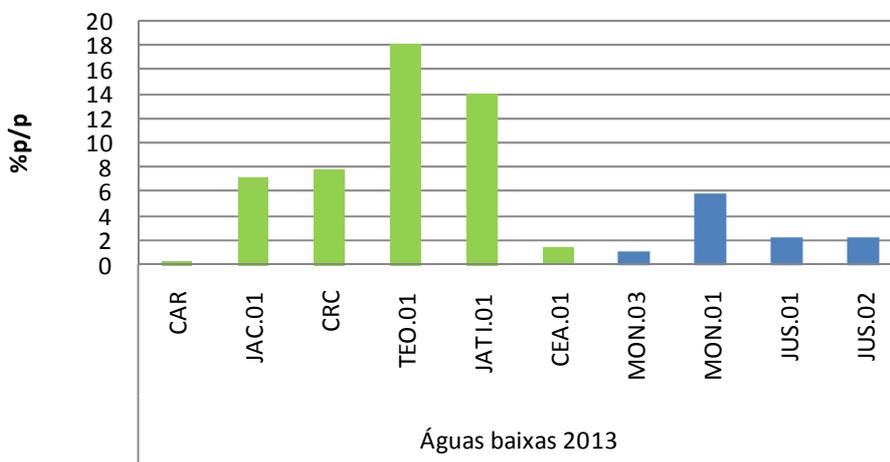


Figura 5.2.4-3 - Porcentagens de carbono orgânico total nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

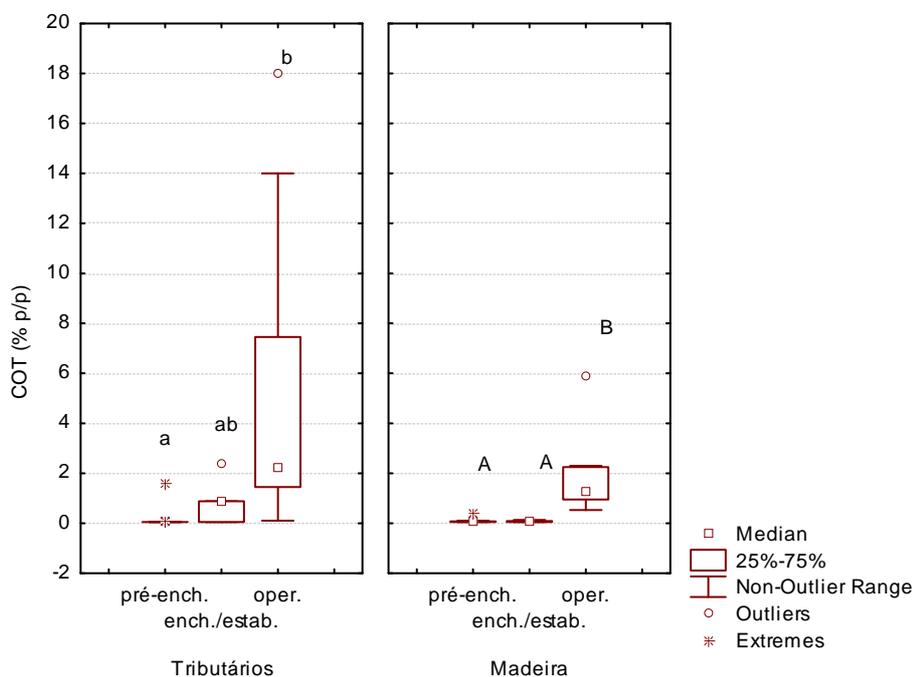


Figura 5.2.4-4 - Box-plot das concentrações de carbono orgânico total, nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

Considerando todos os valores de cinzas (base seca) medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de $92 \pm 12\%$ p/p (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi $81 \pm 23\%$ p/p (média \pm DP) (Figura 5.2.4-5). Durante a fase de pré-enchimento o teor de cinzas (base seca) foi de $96 \pm 3\%$ p/p (mediana = 97% p/p).

Cinzas (Base Seca)

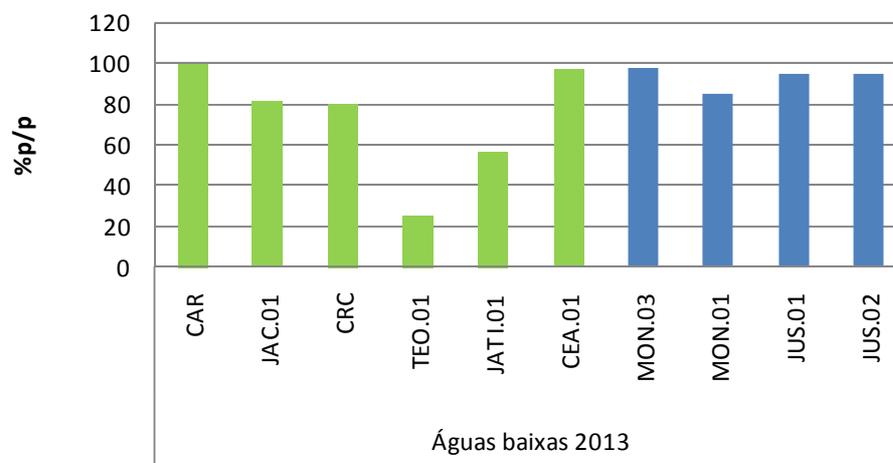


Figura 5.2.4-5 - Cinzas (base seca) nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de cinzas (base úmida) medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de $59 \pm 14\%$ p/p (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi $58 \pm 21\%$ p/p (média \pm DP) (Figura 5.2.4-6). Durante a fase de pré-enchimento o teor de cinzas (base úmida) foi de $65 \pm 11\%$ p/p (mediana = 65% p/p).

Cinzas (Base Úmida)

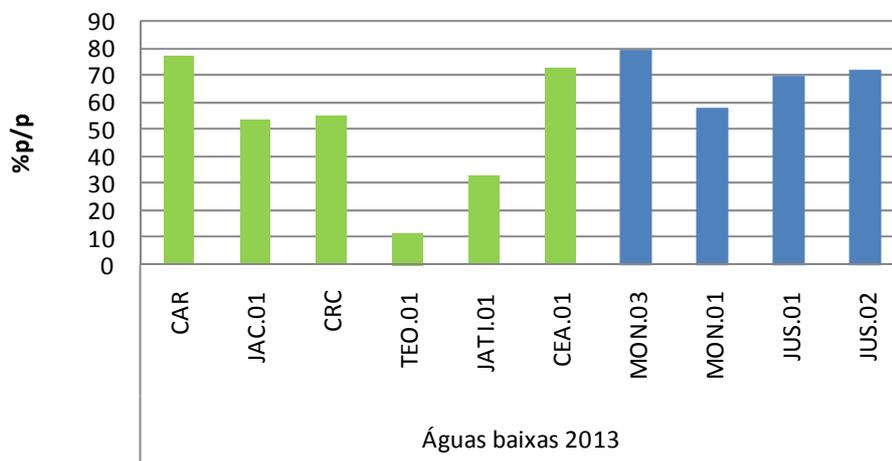


Figura 5.2.4-6 - Cinzas (base úmida) nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

5.2.4.3 - Nutrientes: nitrogênio e fósforo

De acordo com Forsbeg *et al.* (1988), nos lagos da Amazônia as concentrações de nitrogênio total e fósforo total dependem fortemente das características geoquímicas do rio associado e da bacia de drenagem local.

Considerando todos os valores de nitrogênio total medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 727 ± 636 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 686 ± 266 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-7). Durante a fase de pré-enchimento o teor de nitrogênio total foi de 815 ± 793 mg/kg (mediana = 611 mg/kg). Em todas as estações, as concentrações de nitrogênio ficaram abaixo de 4.800 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012.

As concentrações de nitrogênio, comparando o período de águas baixas somente, diferiram entre as fases de pré-enchimento e operação, ambas assemelhando-se ao enchimento nos tributários. No rio Madeira, as fases de pré-enchimento e enchimento se diferenciaram, entretanto se assemelharam à operação, nas estações amostradas. (Figura 5.2.4-8).

Nitrogênio Total

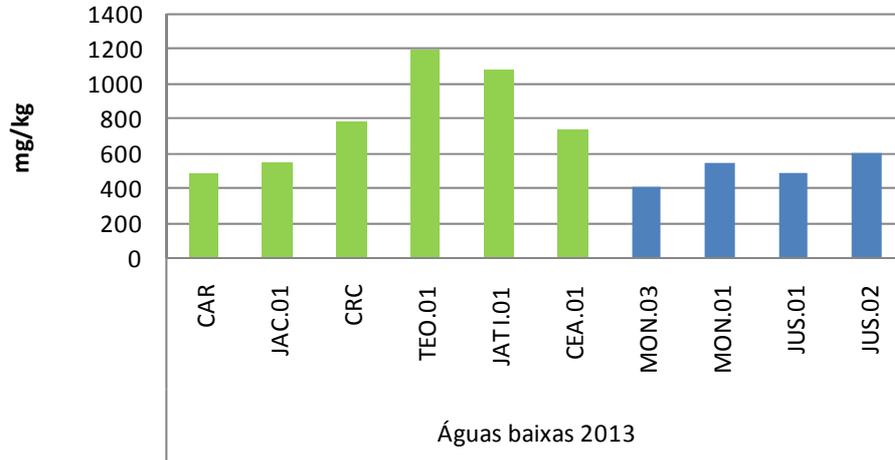


Figura 5.2.4-7 - Concentrações de nitrogênio total nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

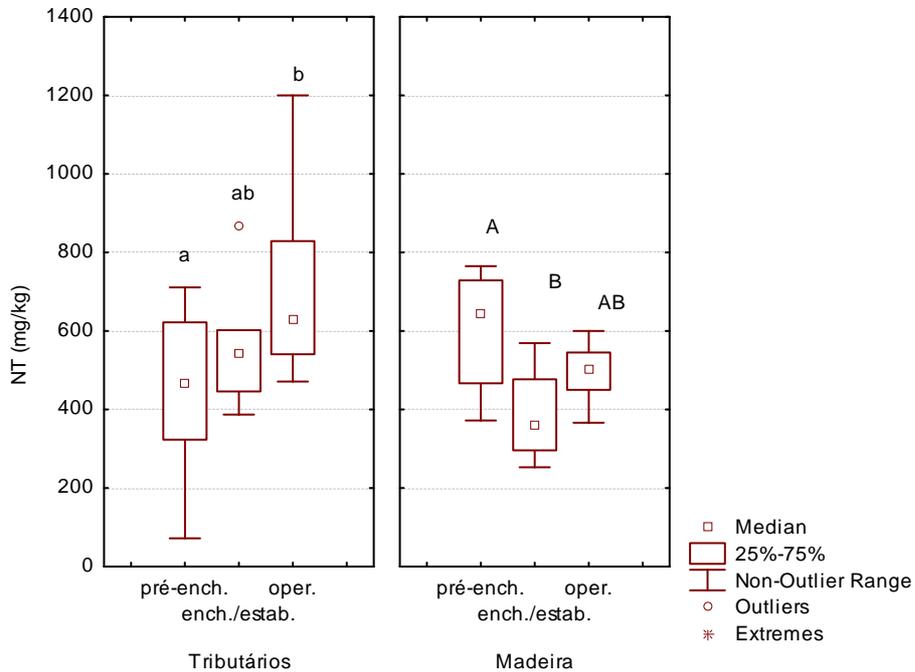


Figura 5.2.4-8 - Box-plot das concentrações de nitrogênio nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

Considerando todos os valores de fósforo medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 414 ± 228 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 365 ± 241 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-9). Durante a fase de pré-enchimento o teor de fósforo foi de 348 ± 250 mg/kg (mediana = 372 mg/kg). As concentrações de fósforo ficaram abaixo de 2000 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012.

As concentrações de fósforo, comparando o período de águas baixas somente, não diferiram entre as fases do empreendimento nas estações do rio Madeira e tributários. (Figura 5.2.4-10).

Fósforo

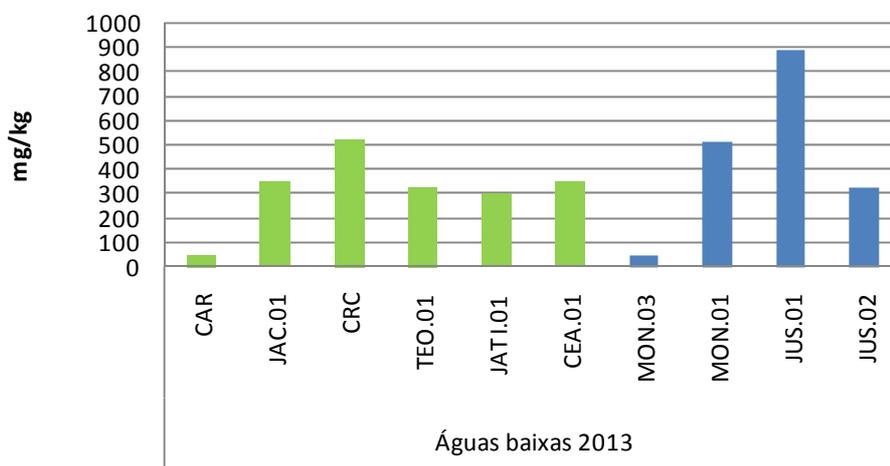


Figura 5.2.4-9 - Concentrações de fósforo nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

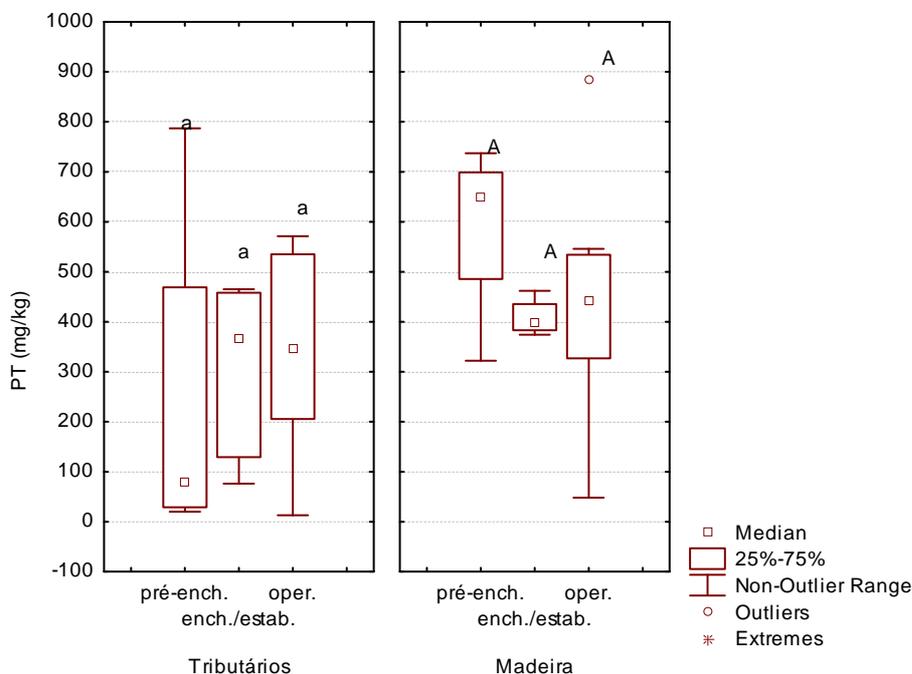


Figura 5.2.4-10 - Box-plot das concentrações de fósforo nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

5.2.4.4 - Macronutrientes: sódio, potássio, cálcio e magnésio

Considerando todos os valores de sódio medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 112 ± 95 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 111 ± 102 mg/kg (média \pm DP). O limite de quantificação do método para este elemento é de 50 mg/kg, e as estações CAR, JAC.01, CRC, JUS.01 e JUS.02 ficaram abaixo deste limite (Figura 5.2.4-11). Durante a fase de pré-enchimento o teor de sódio foi de 83 ± 75 mg/kg (mediana = 53 mg/kg).

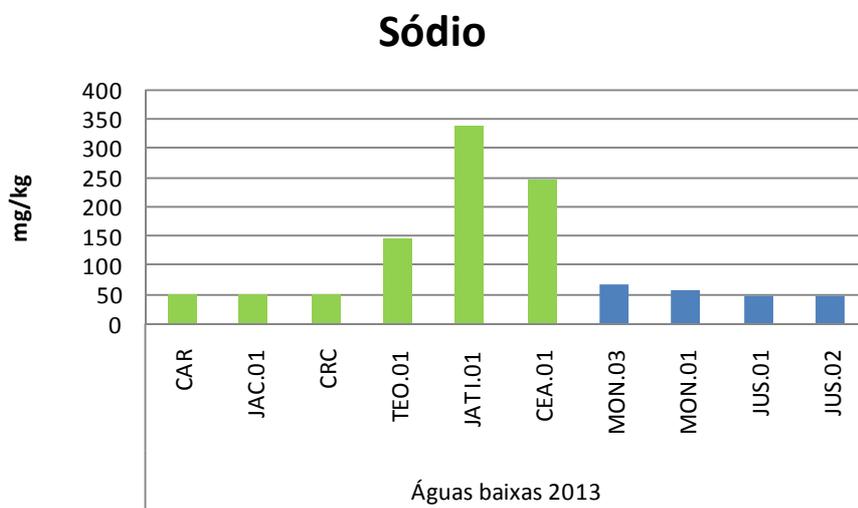


Figura 5.2.4-11 - Concentração de Sódio nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de potássio medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 1221 ± 1372 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 1048 ± 717 mg/kg (média \pm DP). O limite de quantificação do método para este elemento é de 50 mg/kg, a estação MON.03 ficou abaixo deste limite (Figura 5.2.4-12). Durante a fase de pré-enchimento o teor de potássio foi de 482 ± 327 mg/kg (mediana = 532 mg/kg).

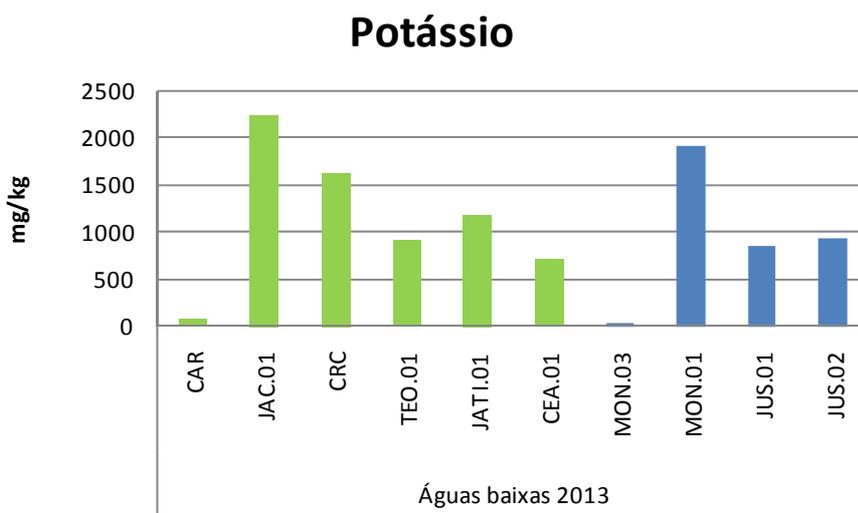


Figura 5.2.4-12 - Concentrações de potássio nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de cálcio medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 1064 ± 695 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 981 ± 620 mg/kg (média \pm DP)(Figura 5.2.4-13). Durante a fase de pré-enchimento o teor de cálcio foi de 722 ± 529 mg/kg (mediana = 866 mg/kg).

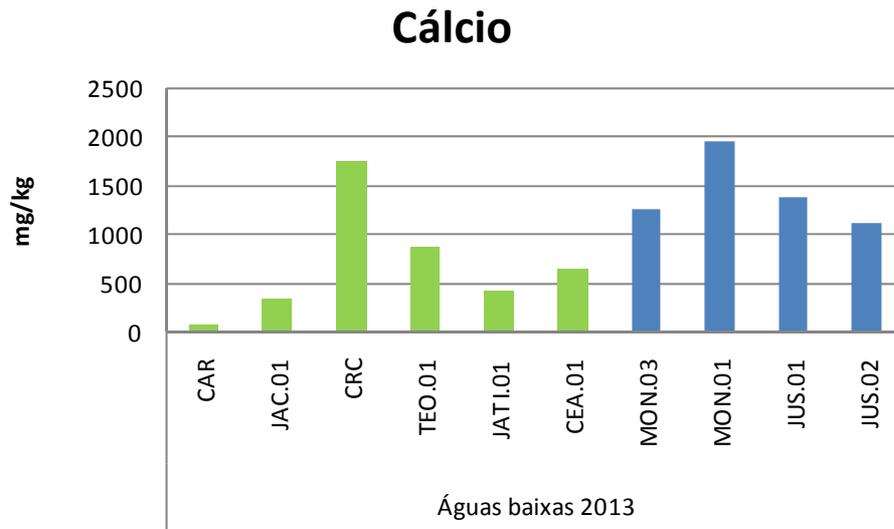


Figura 5.2.4-13 - Concentrações de cálcio nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de magnésio medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 1816 ± 1628 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 1644 ± 1335 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-14). Durante a fase de pré-enchimento o teor de magnésio foi de 1481 ± 973 mg/kg (mediana = 1761 mg/kg).

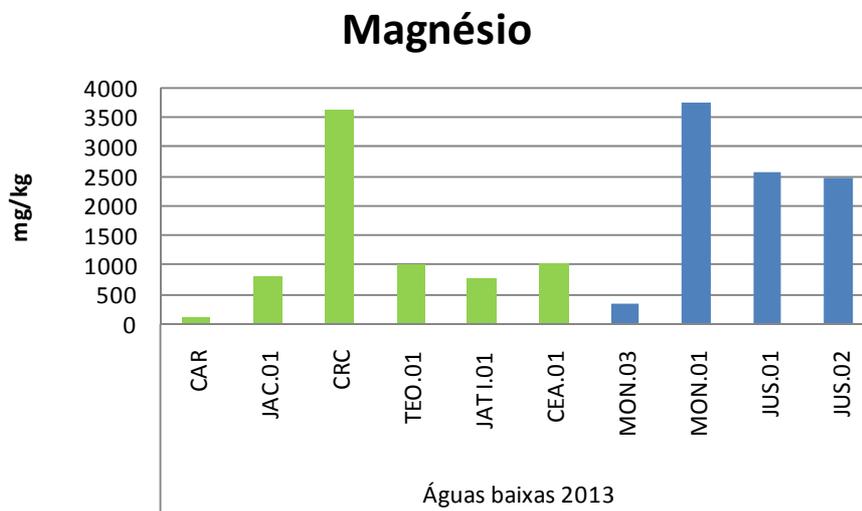


Figura 5.2.4-14 - Concentrações de magnésio nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

5.2.4.5 - Elementos-traço

Em rios, a carga total de elementos-traço depende das características geológicas e ecológicas das bacias de drenagem e do tipo de atividade humana nelas presentes. O transporte é realizado, principalmente, sob forma dissolvida ou ligada ao material particulado em suspensão. Segundo Lacerda et al. (1987), a distribuição dos elementos entre as duas fases é função do tipo de elemento e da carga total de elementos lançados nos rios. Nessa linha, rios que recebem grandes cargas de rejeitos industriais apresentam, na maioria dos casos, grandes concentrações de elementos na forma dissolvida, enquanto que rios sem contribuições antrópicas apresentam a maior parte da carga total de elementos-traço associada ao material particulado em suspensão (Esteves, 1998).

As concentrações de cádmio ficaram sempre abaixo do limite de quantificação do método (0,1 mg/kg) em todas as estações avaliadas até o momento.

Em relação ao estanho, a maior parte dos valores também ficaram abaixo do limite de quantificação do método analítico. Considerando o período de operação até o momento o teor de estanho só foi quantificado nas estações: JAC.01 (5,6 mg/kg) na enchente/2013; TEO.01 (2,5 mg/kg), CEA.01 (2,6 mg/kg) e MON.01 (1,6 mg/kg) nas águas altas/2013 e; JAC.01 (4,5 mg/kg) e TEO.01 (4 mg/kg) na vazante de 2013. No período de águas baixas de 2013, todas as estações monitoradas ficaram abaixo do limite de quantificação do método de 1 mg/kg.

Considerando todos os valores de alumínio medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 12372 ± 12347 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi de 13185 ± 11776 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-15). Durante a fase de pré-enchimento o teor de alumínio foi de 5075 ± 3810 mg/kg (mediana = 4774 mg/kg).

Alumínio

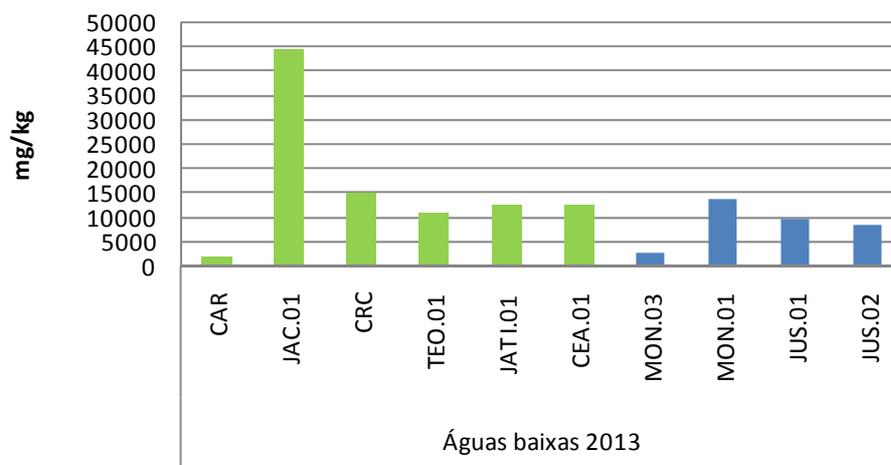


Figura 5.2.4-15 - Concentrações de alumínio nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de bário medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 80 ± 50 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 81 ± 50 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-16). Durante a fase de pré-enchimento o teor de bário foi de 40 ± 27 mg/kg (mediana = 44 mg/kg).

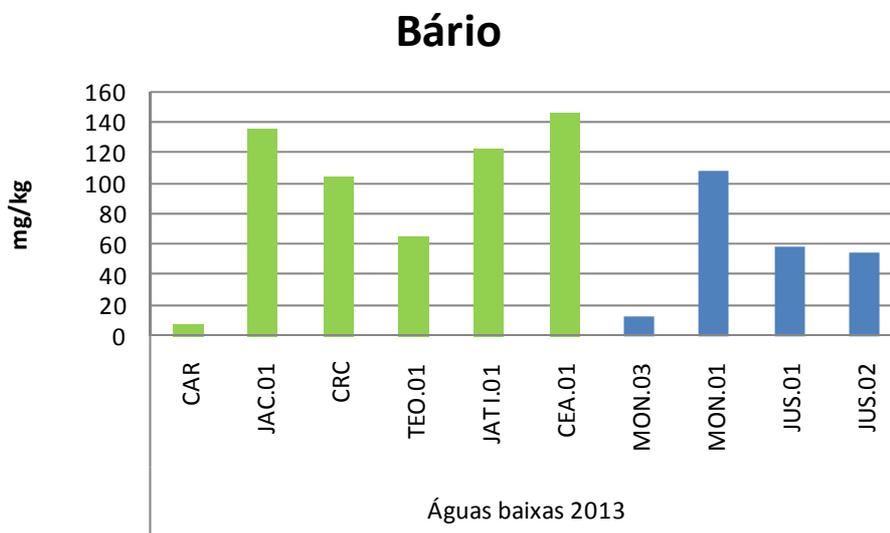


Figura 5.2.4-16 - Concentrações de bário nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de chumbo medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 10 ± 8 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 11 ± 5 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-17). Durante a fase de pré-enchimento o teor de chumbo foi de $9,4 \pm 4,2$ mg/kg (mediana = 9,7 mg/kg). As concentrações ficaram abaixo de 91,3 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para sedimento Nível 2.

As concentrações de chumbo, comparando o período de águas baixas somente, não diferiram entre as fases do empreendimento nas estações do rio Madeira e tributários. (Figura 5.2.4-18).

Chumbo

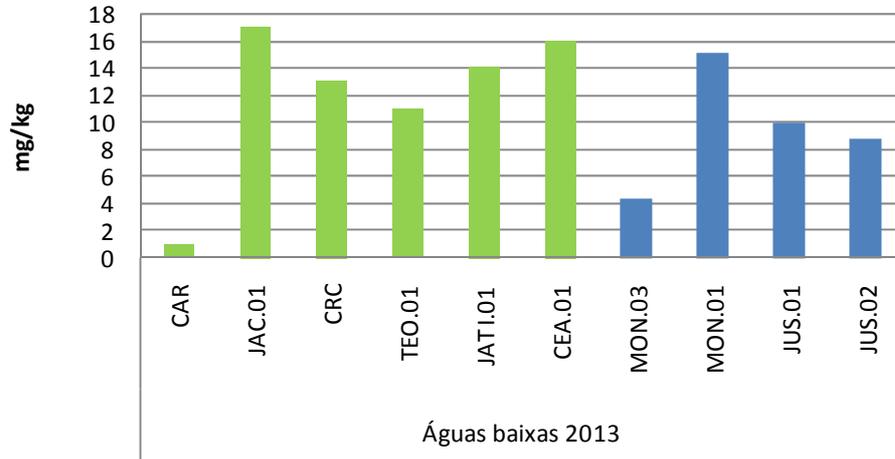


Figura 5.2.4-17 - Concentrações de chumbo nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

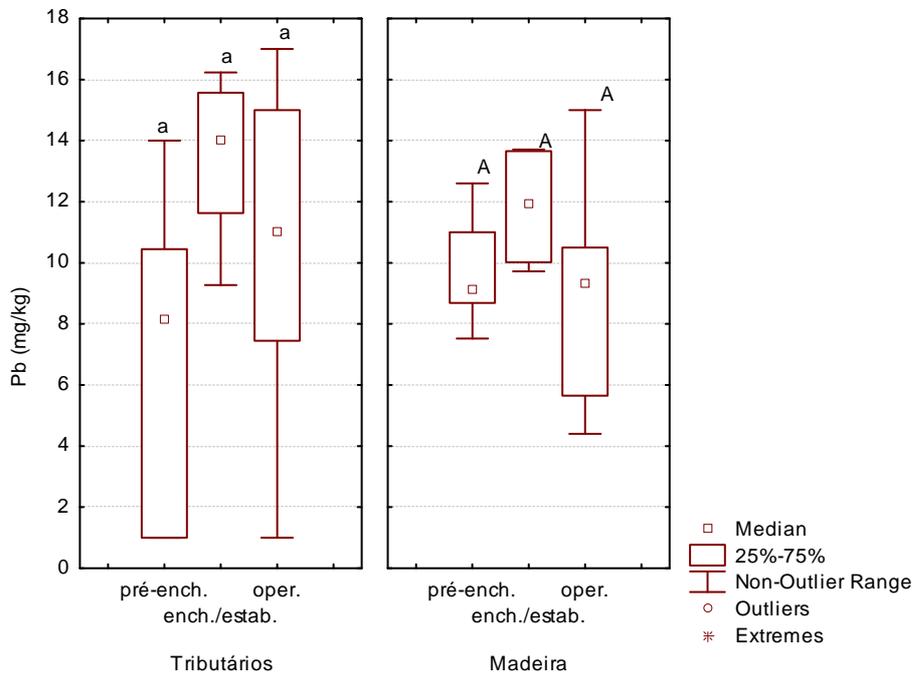


Figura 5.2.4-18 - Box-plot das concentrações de chumbo nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

Considerando todos os valores de cobalto medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 6 ± 5 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 6 ± 4 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-19). Durante a fase de pré-enchimento o teor de cobalto foi de $7,5 \pm 3,8$ mg/kg (mediana = 9,0 mg/kg).

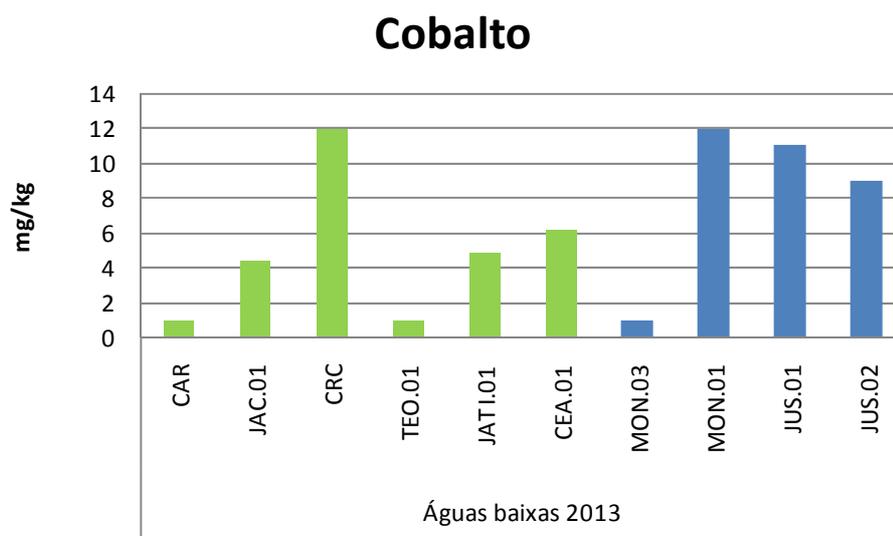


Figura 5.2.4-19 - Concentrações de cobalto nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de cobre medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 12 ± 8 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 10 ± 6 mg/kg (média \pm DP). (Figura 5.2.4-20). Durante a fase de pré-enchimento o teor de cobre foi de $12,3 \pm 7,1$ mg/kg (mediana = 14,1 mg/kg). As concentrações ficaram sempre abaixo de 197 mg/kg, valor estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para sedimento Nível 2.

As concentrações de cobre, comparando o período de águas baixas somente, não diferiram entre as fases do empreendimento nas estações dos tributários. Entretanto diferiram entre as fases de pré-enchimento e operação, ambas assemelhando-se ao enchimento no rio Madeira (Figura 5.2.4-21).

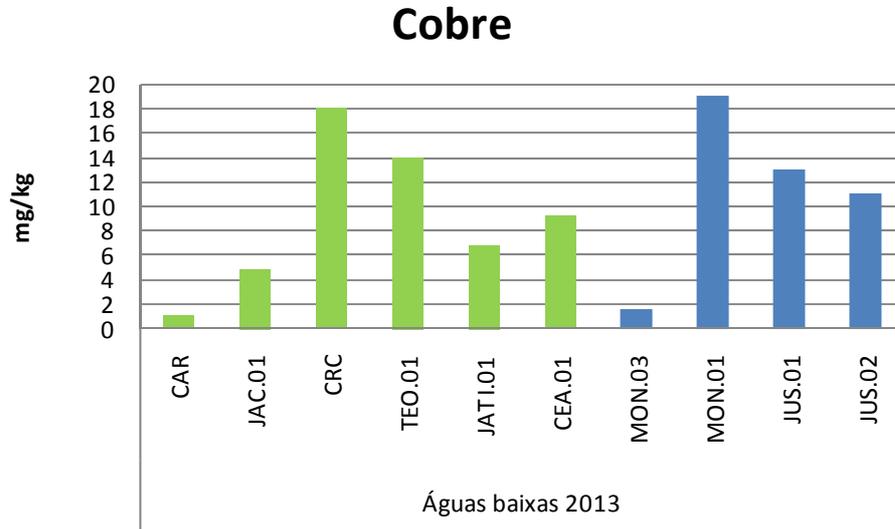


Figura 5.2.4-20 - Concentrações de cobre nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

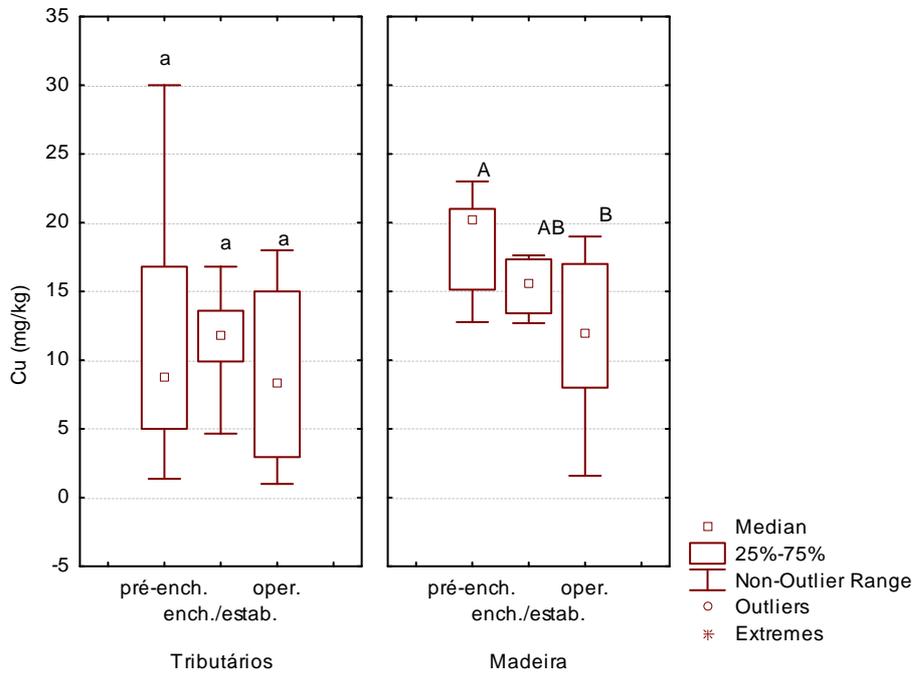


Figura 5.2.4-21 - Box-plot das concentrações de cobre nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

Considerando todos os valores de cromo medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 11 ± 8 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 13 ± 6 mg/kg (média \pm DP). (Figura 5.2.4-22). Durante a fase de pré-enchimento o teor de cromo foi de $8,0 \pm 4,1$ mg/kg (mediana = 8,2 mg/kg). As concentrações ficaram abaixo de 90 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para sedimento Nível 2.

As concentrações de cromo, considerando somente o período de águas baixas, diferiram somente nos tributários entre as fases de pré-enchimento e operação, ambas assemelhando-se ao enchimento. (Figura 5.2.4-23).

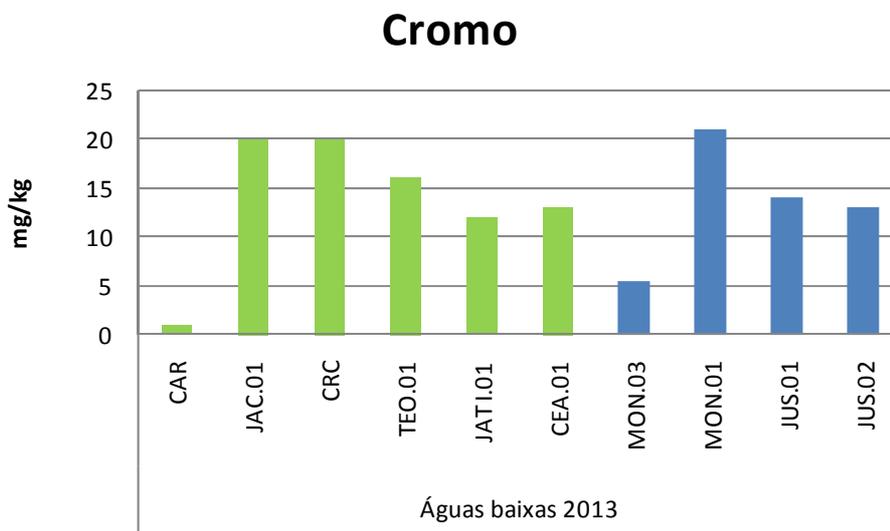


Figura 5.2.4-22 - Concentrações de cromo nos sedimentos amostrados nas águas baixas 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

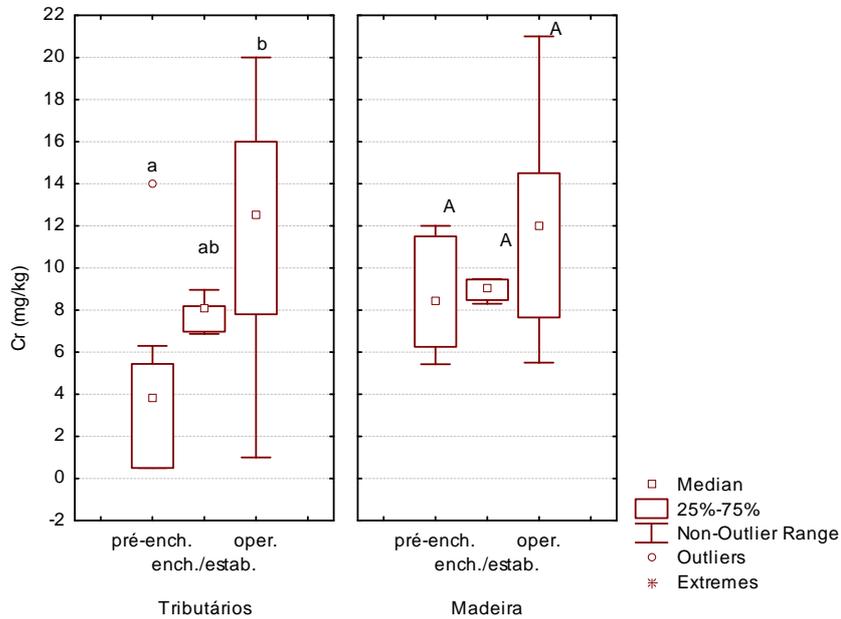


Figura 5.2.4-23 - Box-plot das concentrações de cromo nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

Considerando todos os valores de ferro medido durante o período de operação até o momento, a média foi de 15741 ± 9325 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 14762 ± 8353 mg/kg (média \pm DP). (Erro! Fonte de referência não encontrada.). Durante a fase de pré-enchimento o teor de ferro foi de 19741 ± 12885 mg/kg (mediana = 21540 mg/kg).

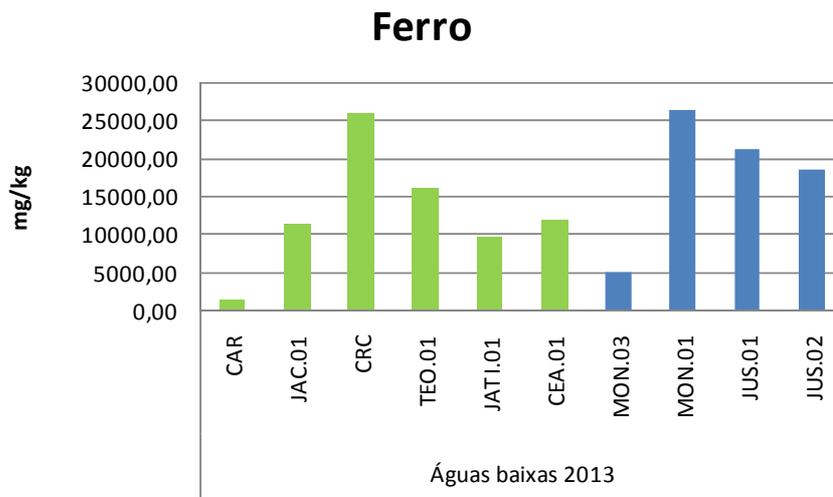


Figura 5.2.4-242 - Concentração de Ferro nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de manganês medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 270 ± 204 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 263 ± 219 mg/kg (média \pm DP). (Erro! Fonte de referência não encontrada.). Durante a fase de pré-enchimento o teor de manganês foi de 242 ± 163 mg/kg (mediana = 268 mg/kg).

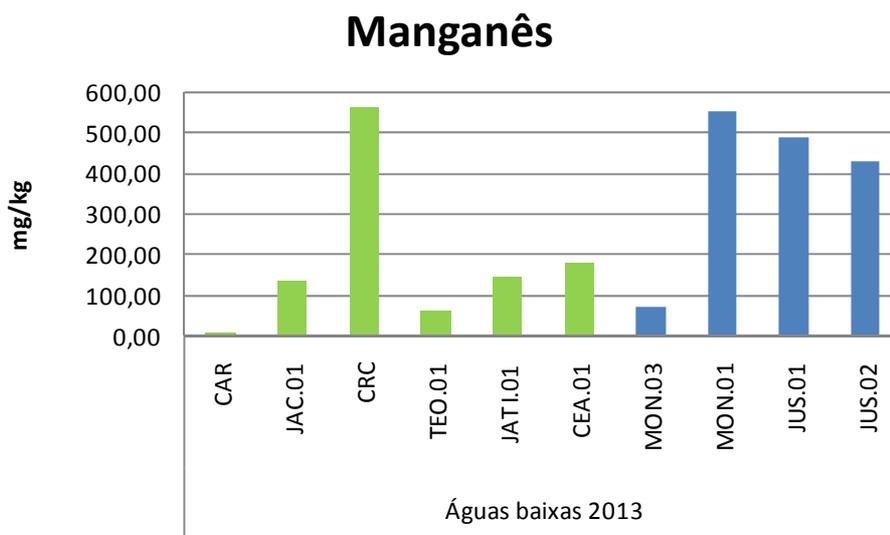


Figura 5.2.4-252 - Concentração de Manganês nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de mercúrio medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de $0,07 \pm 0,04$ mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi $0,06 \pm 0,05$ mg/kg (média \pm DP). Vale ressaltar que as estações CAR, CRC e TEO.01, assim como todas as estações localizadas no rio Madeira ficaram abaixo do limite de quantificação do método de 0,05 mg/kg neste período de águas baixas (Figura 5.2.4-26).

Durante a fase de pré-enchimento o teor de mercúrio foi de $0,041 \pm 0,023$ mg/kg (mediana = 0,038 mg/kg). As concentrações de Hg ficaram abaixo de 0,48 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para sedimento Nível 2.

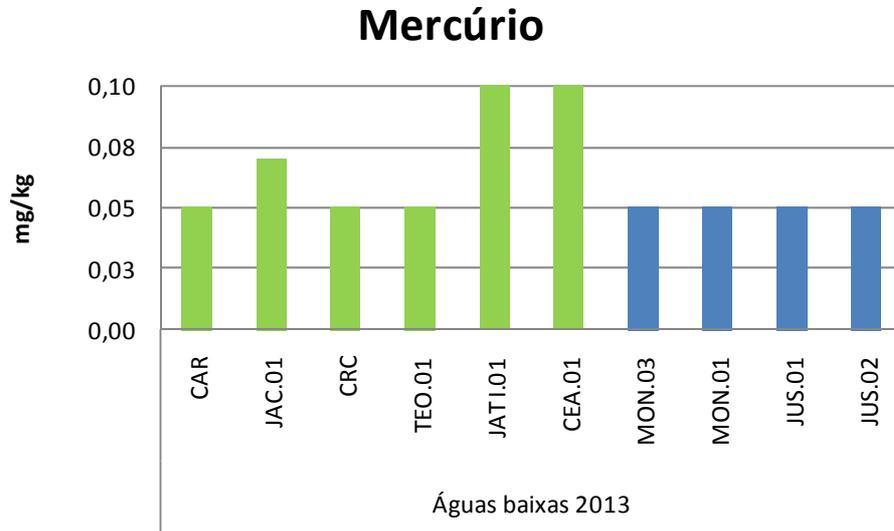


Figura 5.2.4-26 - Concentração de Mercúrio nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de níquel medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 11 ± 8 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 11 ± 7 mg/kg (média \pm DP). (Figura 5.2.4-27). Durante a fase de pré-enchimento o teor de níquel foi de $12,7 \pm 5,9$ mg/kg (mediana = 15,0 mg/kg). As concentrações ficaram abaixo de 35,9 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para sedimento Nível 2.

As concentrações de níquel, considerando somente o período de águas baixas não diferiram entre as fases do empreendimento nem no rio Madeira nem nos tributários. (Figura 5.2.4-28).

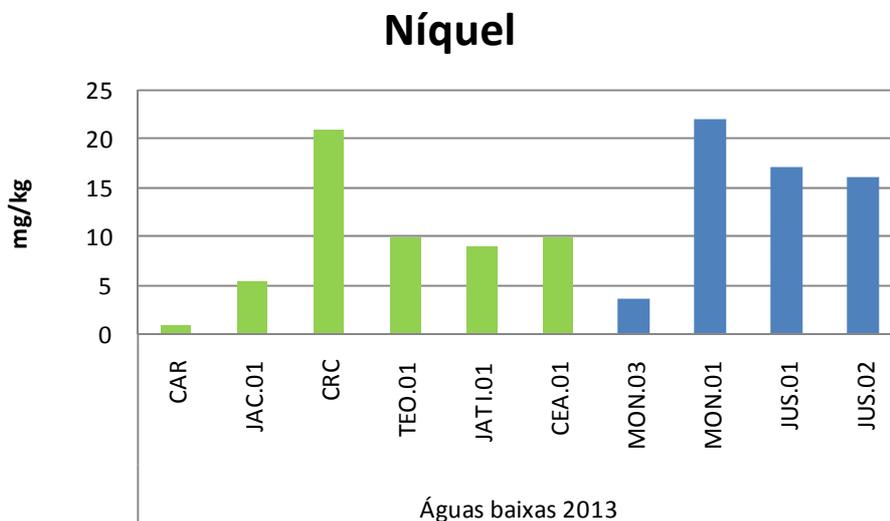


Figura 5.2.4-27 - Concentrações de níquel nos sedimentos amostrados nas águas baixas 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

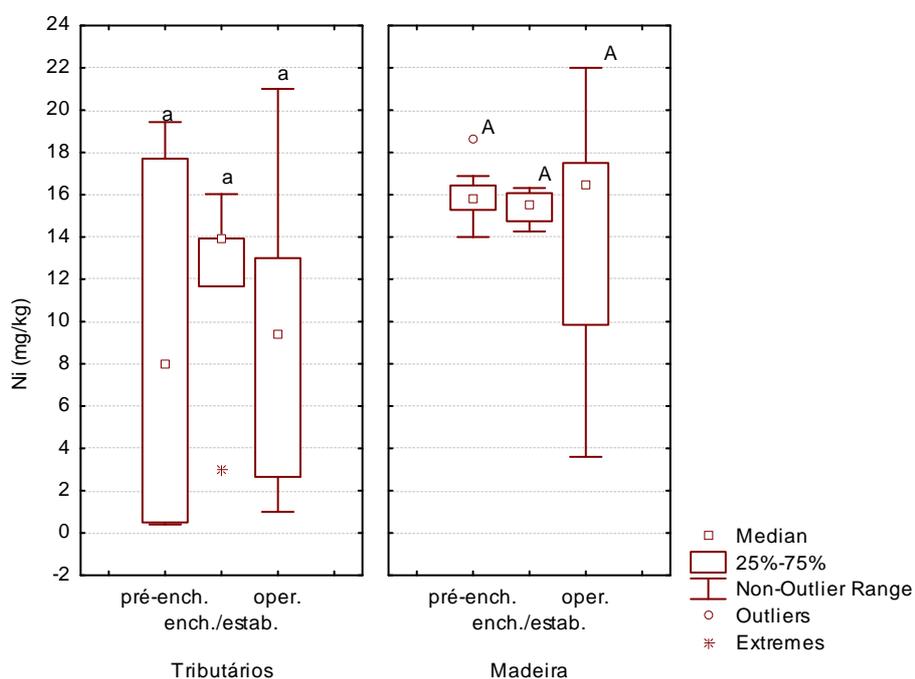


Figura 5.2.4-28 - Box-plot das concentrações de níquel nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

Considerando todos os valores de silício medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 486 ± 232 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 394 ± 94 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-29). Durante a fase de pré-enchimento o teor de silício foi de $(287 \pm 271$ mg/kg, mediana = 244 mg/kg).

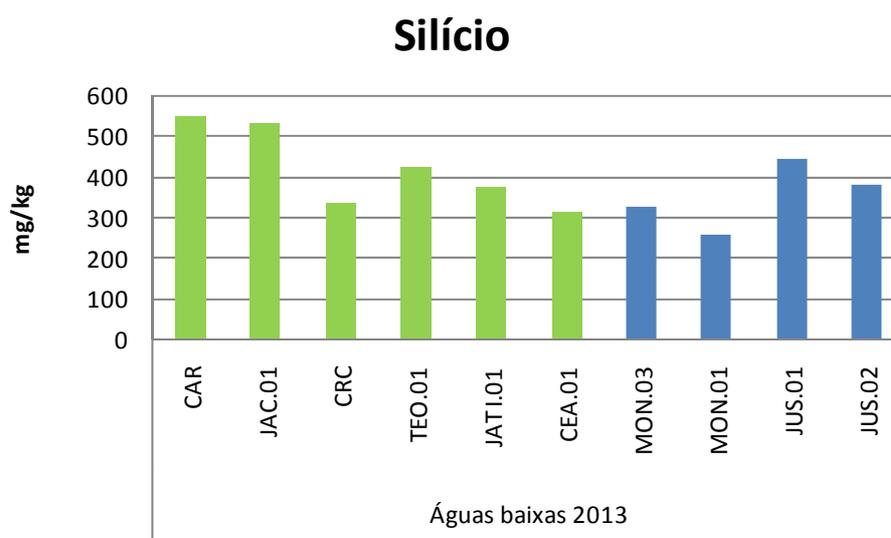


Figura 5.2.4-29 - Concentrações de silício nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Considerando todos os valores de zinco medidos durante o período de operação até o momento, a média foi de 47 ± 27 mg/kg (média \pm DP). No período de águas baixas de 2013 a média foi 40 ± 24 mg/kg (média \pm DP) (Figura 5.2.4-30). Durante a fase de pré-enchimento o teor de zinco foi de 44 ± 22 mg/kg (mediana = 53 mg/kg). As concentrações ficaram abaixo de 315 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para sedimento Nível 2.

As concentrações de zinco, considerando somente o período de águas baixas não diferiram entre as fases do empreendimento nem no rio Madeira nem nos tributários. (Figura 5.2.4-31).

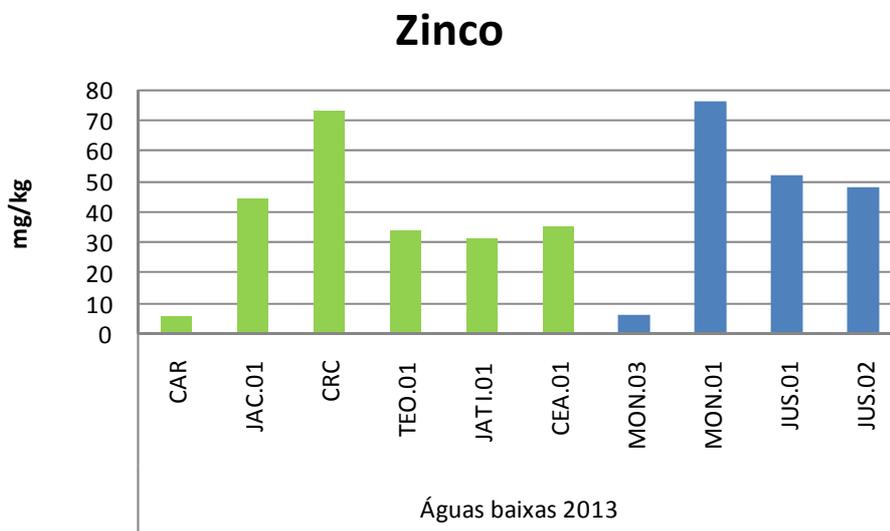


Figura 5.2.4-30 - Concentrações de zinco nos sedimentos amostrados nas águas baixas de 2013 (outubro). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

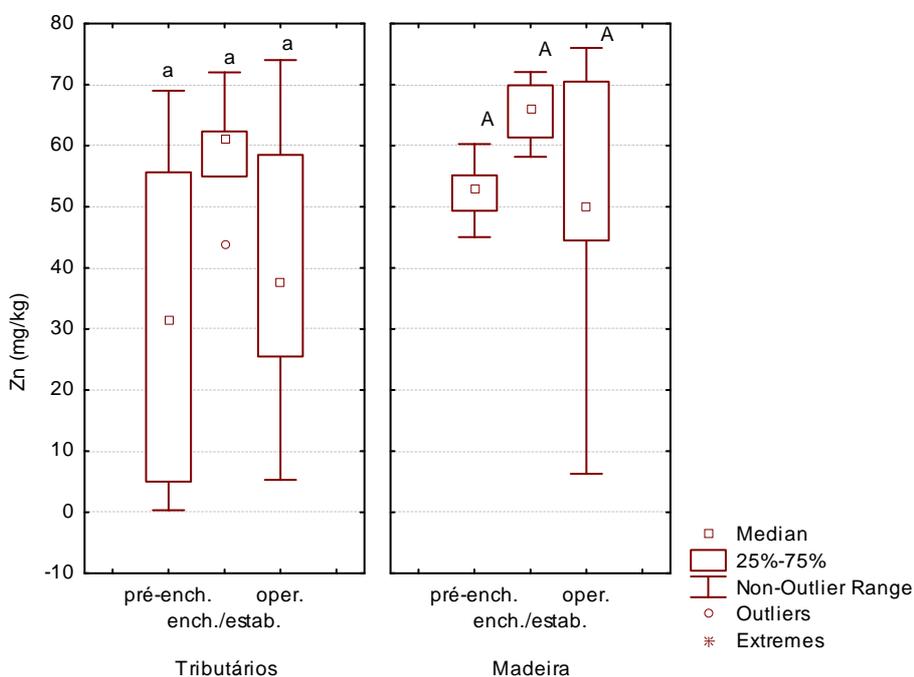


Figura 5.2.4-31 - Box-plot das concentrações de zinco nos sedimentos dos tributários e do rio Madeira ao longo das fases de pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação.

5.2.4.6 - Compostos orgânicos (biocidas)

Em relação a lista de biocidas avaliados na fase de operação até o momento, todos os PCBs e HPAs ficaram abaixo do limite de quantificação do método analítico, em todas as estações. Ao longo de todo o período de estudo, desde a fase de pré-enchimento, o somatório de HPAs e PCBs ficou sempre abaixo do valor estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012 para sedimento Nível 1 de (1000 e 34,1 µg/kg), respectivamente.

5.2.4.7 - Discussão

Em relação à granulometria do sedimento, houve um predomínio de fração mais fina com maior proporção de silte, seguida de areia muito fina, principalmente no sedimento do rio Madeira. Nos tributários a dinâmica foi semelhante, entretanto pode-se observar maior heterogeneidade nas frações encontradas de acordo com a estação de coleta.

Devido a sua origem andina, historicamente o rio Madeira transporta maiores concentrações de alguns elementos-traço, que se depositam nas camadas do sedimento. Além disso, a natureza de granulometria mais fina do sedimento desses ambientes tende a apresentar maior capacidade de retenção de elementos-traço (Singh et al. 2004).

Segundo Esteves (1998), o sedimento é classificado como orgânico - quando possui uma concentração de matéria orgânica superior a 10% de seu peso seco - e mineral, quando a concentração de matéria orgânica é inferior a 10% do peso seco. Sendo assim, os sedimentos das estações (CRC, TEO.1, JAC.1, JATI.01 e MON.01) apresentaram características de sedimento orgânico. Durante todas as campanhas pretéritas os sedimentos foram classificados como mineral, o que sugere que a continuidade dessa dinâmica deve ser observada nas amostragens futuras.

Os períodos de águas baixas, amostrados ao longo das três fases do empreendimento (pré-enchimento, enchimento/estabilização e operação) foram comparados separadamente para o rio Madeira e para os tributários, a fim de identificar possíveis alterações. Para essa análise, foram selecionadas as variáveis de maior relevância (i.e. aquelas constates na Resolução CONAMA 454/2012).

Não houve diferença significativa entre as fases para o P, Pb, Zn, o Hg e o Ni. Com relação às outras variáveis, houve diferença pelo menos no rio Madeira ou nos tributários. Nesses casos, de um modo geral, o período de enchimento/estabilização assemelhou-se tanto ao período de pré-

enchimento como ao de operação, sugerindo que o enchimento funcionou como uma transição entre dois estados do reservatório. Esse foi o caso do COT, NT e Cr nos tributários; e Cu no rio Madeira. Ainda no Madeira, o COT medido durante a operação foi significativamente superior ao das outras fases e o NT medido na operação assemelhou-se ao das duas outras fases, que foram diferentes entre si.

Conforme observado durante as fases de pré-enchimento e enchimento/estabilização, os valores estiveram de acordo com os limites de alerta especificados na Resolução CONAMA nº 454/2012, nos respectivos ambientes.