

## ÍNDICE

5.2.4 -	Sedimentos .....	1/25
5.2.4.1 -	Granulometria .....	1/25
5.2.4.2 -	Matéria orgânica, carbono orgânico total e teores de cinzas .....	2/25
5.2.4.3 -	Nutrientes: nitrogênio e fósforo .....	5/25
5.2.4.4 -	Macronutrientes: sódio, potássio, cálcio e magnésio .....	7/25
5.2.4.5 -	Elementos-traço .....	11/25
5.2.4.6 -	Compostos orgânicos (biocidas) .....	23/25
5.2.4.7 -	Discussão .....	24/25



## 5.2.4 - Sedimentos

### 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 nas avaliações realizadas em fevereiro, abril e junho de 2012 no presente programa, observou-se predominância de silte em todas as estações localizadas no rio Madeira e tributários. A mesma dinâmica foi observada no mês de novembro de 2012, as únicas exceções foram CAR, onde houve predominância de frações grossas de areia, e JUS.02, onde houve equivalência entre as frações de areia muito fina e silte (Figura 5.2.4-1). Considerando todos os ambientes, a fração silte foi em média a mais abundante (mediana = 681 g/kg) e as frações de areia muito grossa e areia grossa foram as menos comuns (mediana = 0 g/kg).

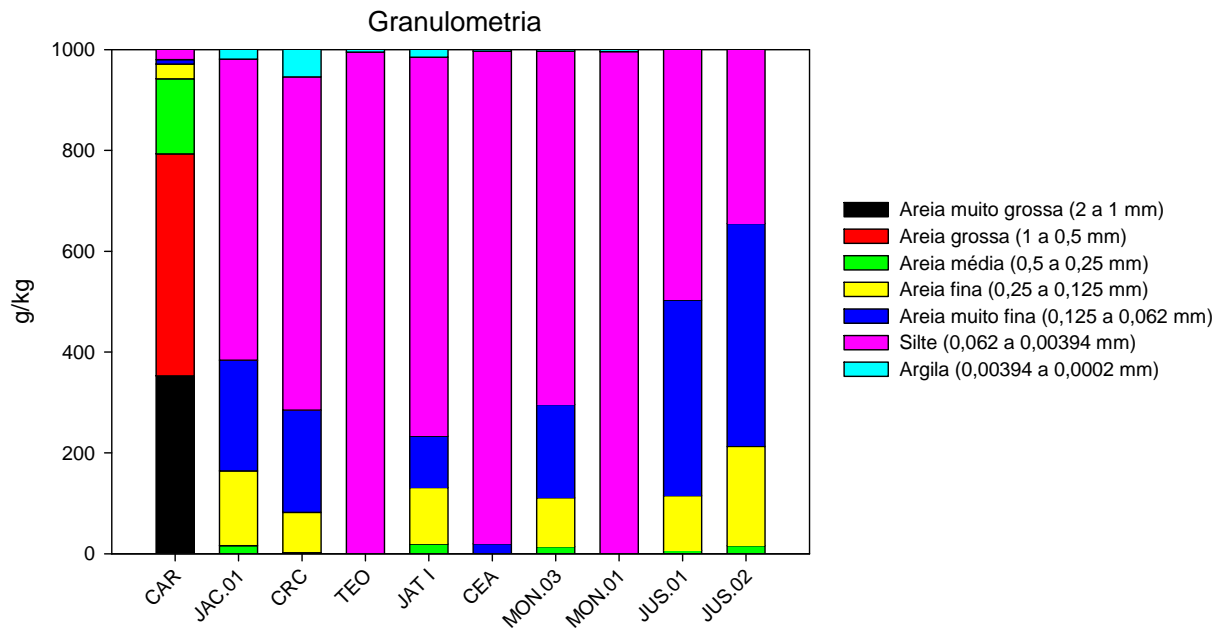


Figura 5.2.4-1 - Granulometria dos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas).

### 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 uma fonte externa de compostos orgânicos de importância vital para a biota.

O teor médio de matéria orgânica nos sedimentos amostrados no rio Madeira foi de  $1,7 \pm 0,7$  % p/p (média  $\pm$  DP) e nos tributários foi de  $2,8 \pm 2,8$  % p/p (média  $\pm$  DP). A concentração mínima foi registrada na estação CAR e a máxima na estação CRC (Figura 5.2.4-2).

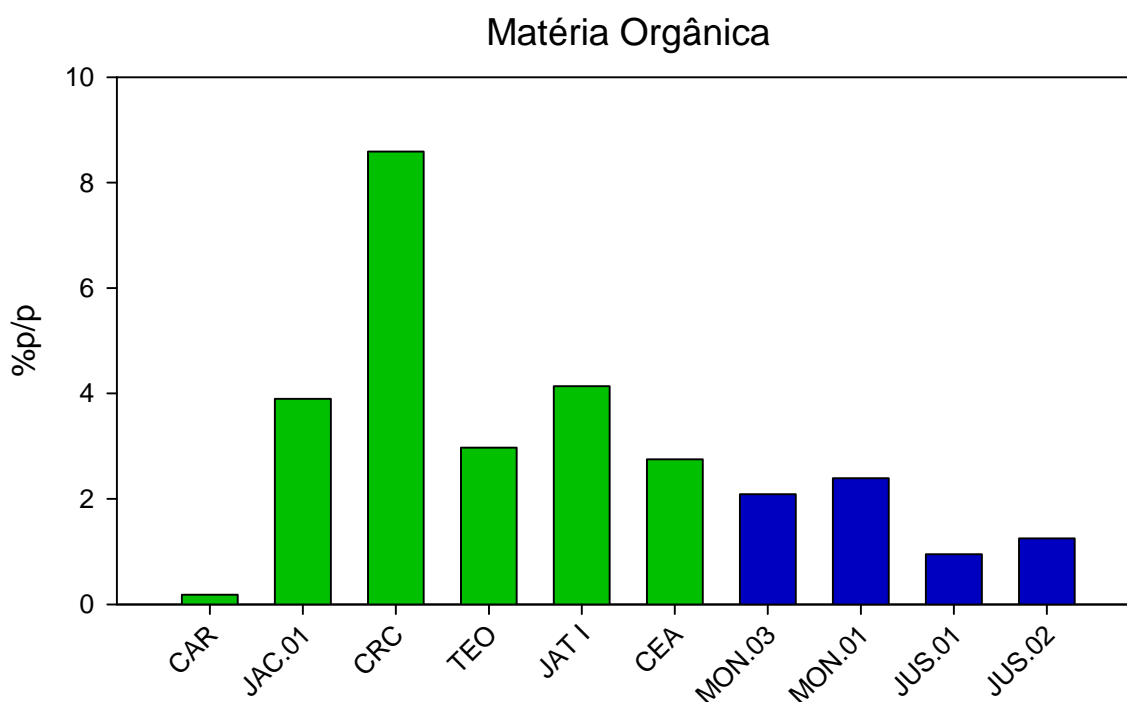


Figura 5.2.4-2 - Porcentagens de matéria orgânica nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

O teor médio de carbono orgânico total nos sedimentos amostrados no rio Madeira foi de  $0,9 \pm 0,4$  % p/p (média  $\pm$  DP), ao passo que nos tributários foi de  $2,1 \pm 1,6$  % p/p (média  $\pm$  DP). A concentração mínima foi registrada na estação CAR e a máxima na estação CRC (Figura 5.2.4-3). A Resolução CONAMA 454/2012 estabelece o limite de 10% como valor de aleta para os teores de carbono orgânico total em sedimentos. Os valores registrados foram sempre inferiores ao valor estipulado pela referida resolução.

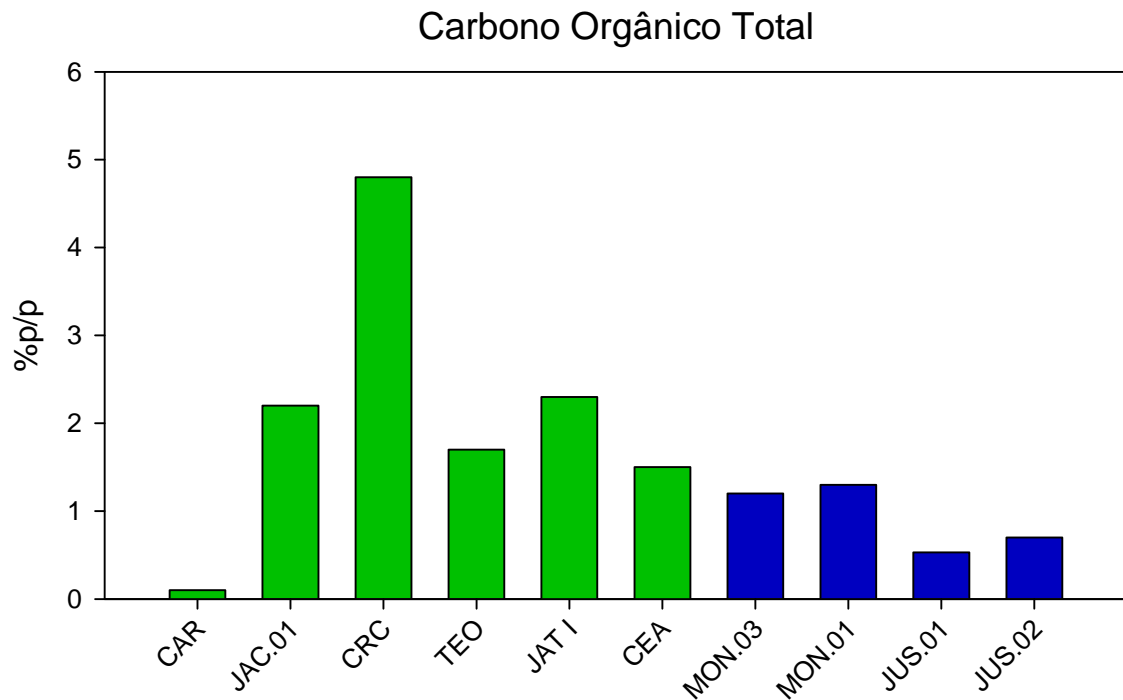


Figura 5.2.4-3 - Porcentagens de carbono orgânico total nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

O teor médio de cinzas (base seca) foi semelhante nas estações amostradas no rio Madeira ( $98 \pm 1$  % p/p, média  $\pm$  DP) e nos tributários ( $93 \pm 5$  % p/p, média  $\pm$  DP). A concentração mínima foi registrada na estação CRC e a máxima na estação CAR (Figura 5.2.4-4).

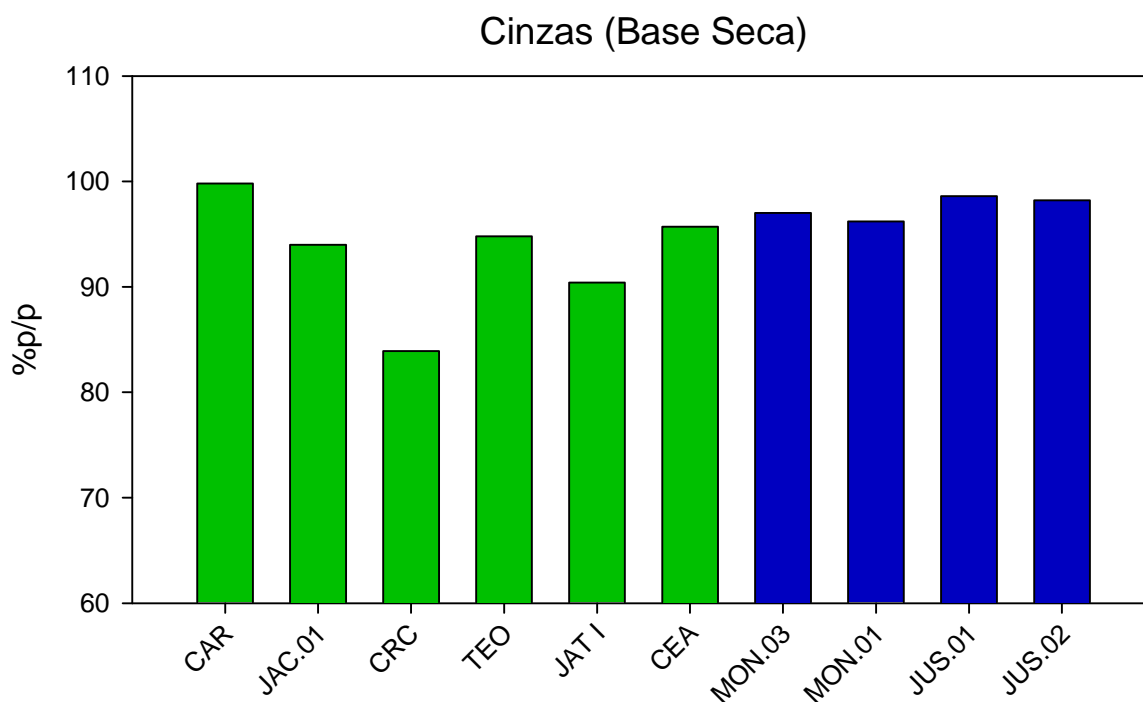


Figura 5.2.4-4 - Cinzas (base seca) nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

O teor médio de cinzas (base úmida) foi semelhante nas estações amostradas no rio Madeira ( $66 \pm 3$  % p/p, média  $\pm$  DP) e nos tributários ( $56 \pm 13$  % p/p, média  $\pm$  DP). A concentração mínima foi registrada na estação JAT I e a máxima na estação CAR (Figura 5.2.4-5).

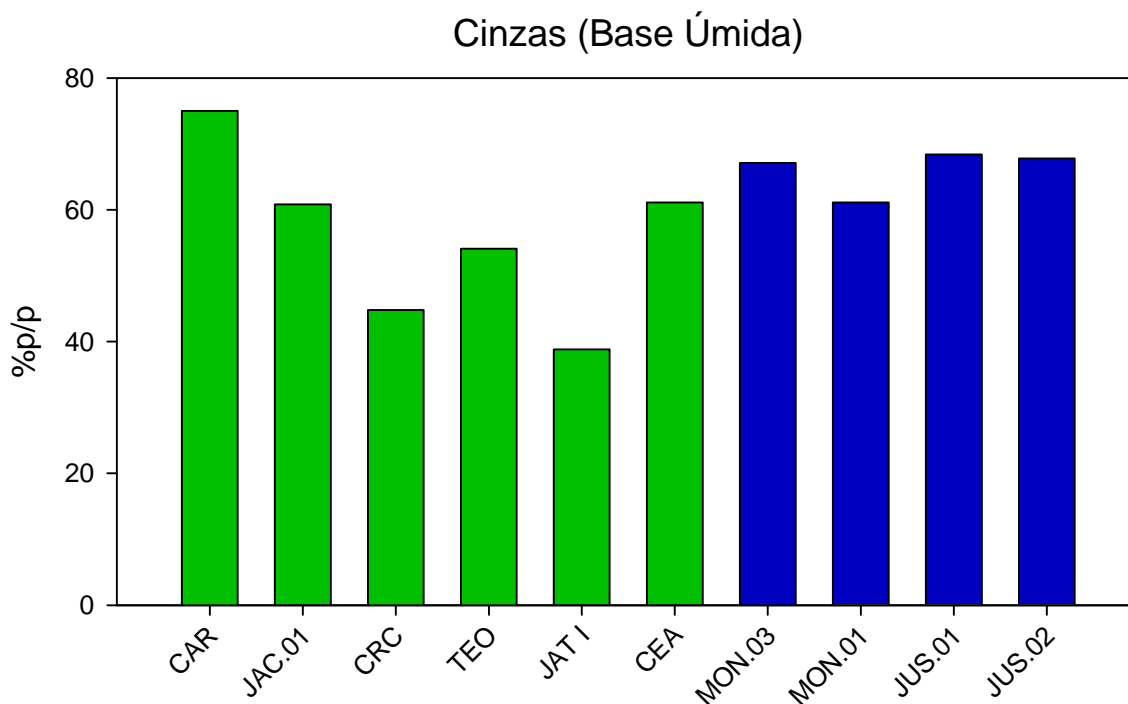


Figura 5.2.4-5 - Cinzas (base úmida) nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

### 5.2.4.3 - Nutrientes: nitrogênio e fósforo

De acordo com Forsberg 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.

Os teores médios de nitrogênio total nos sedimentos amostrados no rio Madeira e tributários foram de  $480 \pm 79$  mg/kg e de  $614 \pm 144$  mg/kg (média  $\pm$  DP), respectivamente. A concentração mínima foi registrada na estação JUS.02, ao passo que a máxima foi registrada na estação CRC (Figura 5.2.4-6). Em todas as estações, as concentrações de nitrogênio total ficaram abaixo de 4800 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012.

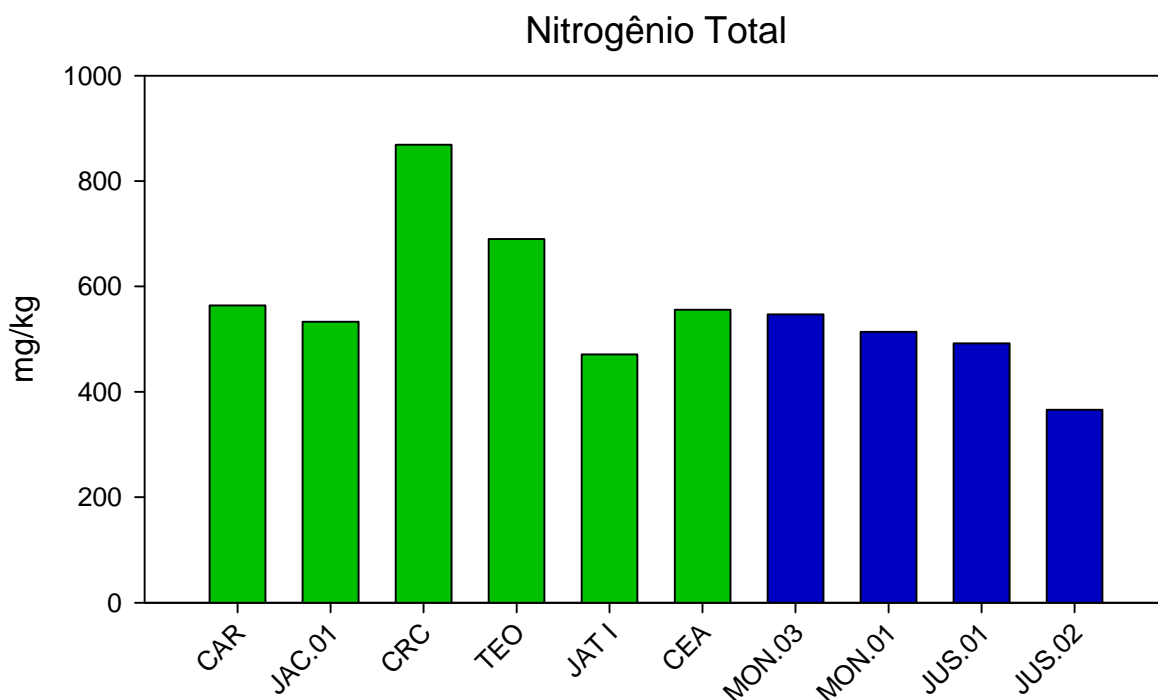


Figura 5.2.4-6 - Concentrações de nitrogênio total nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Os teores médios de fósforo nos sedimentos amostrados no rio Madeira e tributários foram de  $442 \pm 108$  mg/kg e de  $376 \pm 249$  mg/kg (média  $\pm$  DP), respectivamente. A concentração mínima foi registrada na estação CAR, ao passo que a máxima foi registrada na estação CRC (Figura 5.2.4-7). Em todas as estações, as concentrações de fósforo ficaram abaixo de 2000 mg/kg, valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 454/2012.



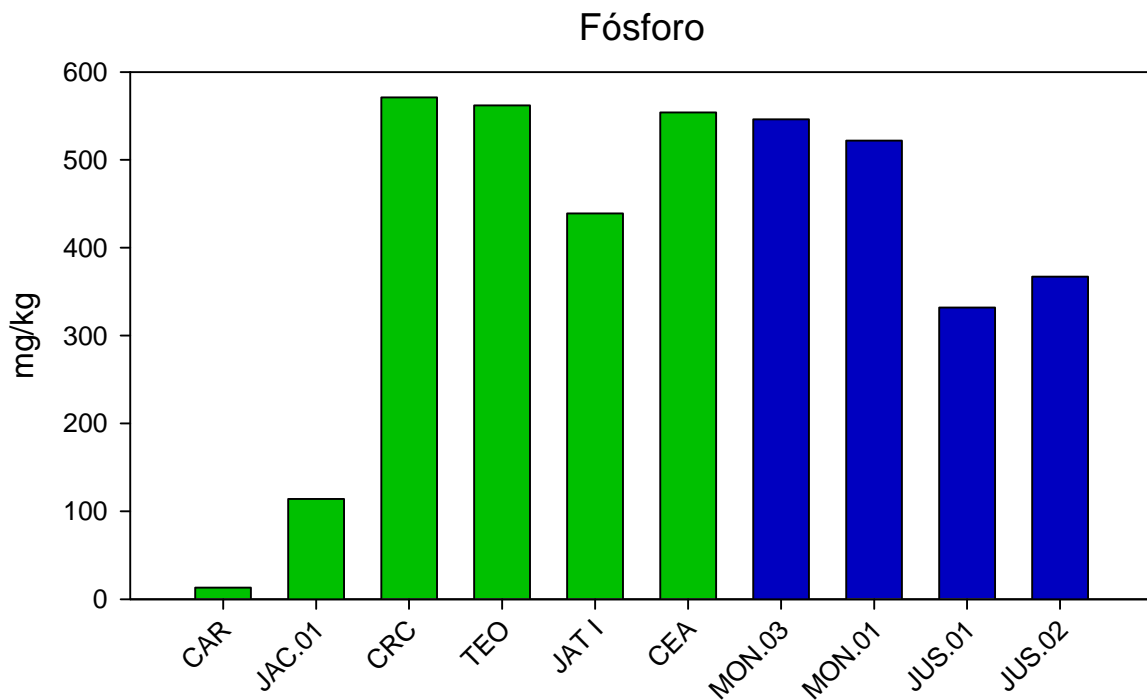


Figura 5.2.4-7 - Concentrações de fósforo nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

#### 5.2.4.4 - Macronutrientes: sódio, potássio, cálcio e magnésio

As concentrações de sódio nos sedimentos amostrados no rio Madeira e tributários foram de  $164 \pm 18$  mg/kg e de  $160 \pm 36$  mg/kg (média  $\pm$  DP), respectivamente. A concentração mínima foi registrada na estação CAR, ao passo que a máxima foi registrada na estação TEO (Figura 5.2.4-8).

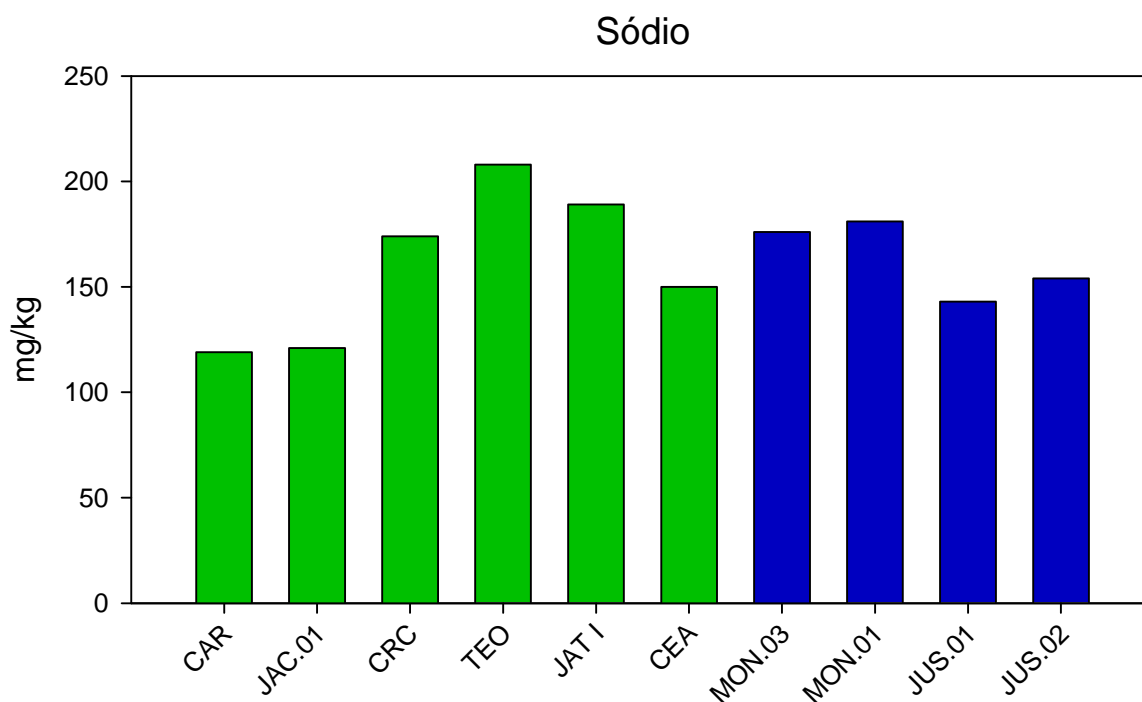


Figura 5.2.4-8 - Concentração de sódio nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações de potássio nos sedimentos amostrados no rio Madeira e tributários foram de  $721 \pm 345$  mg/kg e de  $715 \pm 504$  mg/kg (média  $\pm$  DP), respectivamente. A concentração mínima foi registrada na estação CAR, estando abaixo do limite de quantificação do método (50 mg/kg), ao passo que a máxima foi registrada na estação TEO (Figura 5.2.4-9).

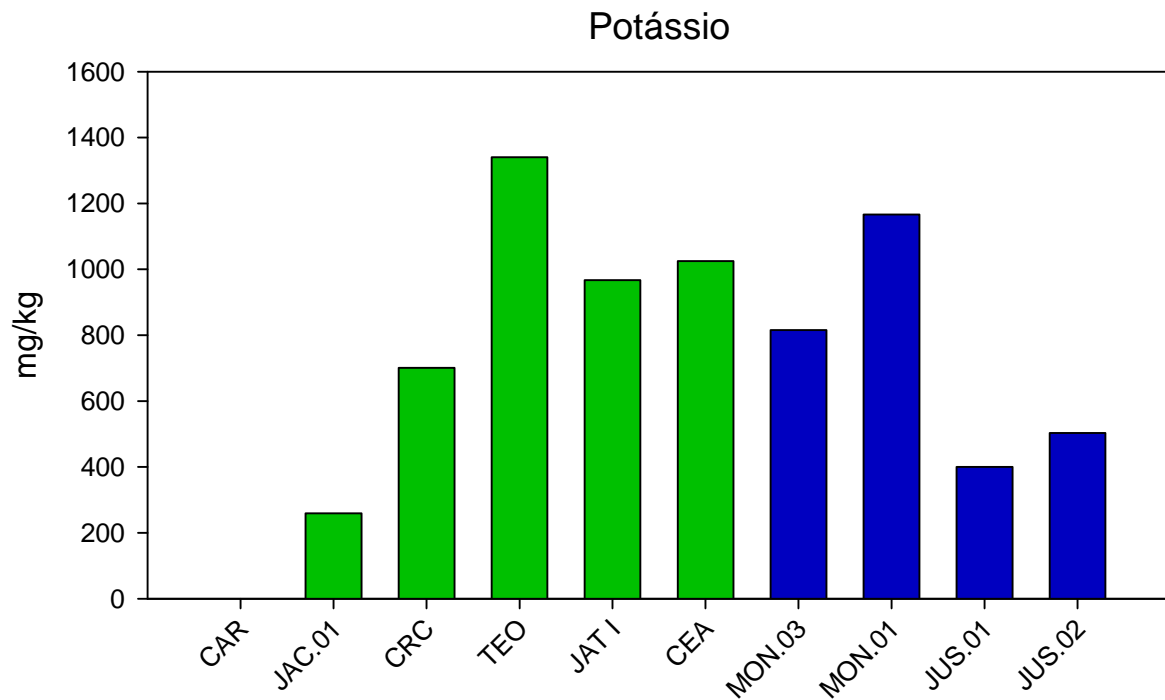


Figura 5.2.4-9 - Concentrações de potássio nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de cálcio foram de  $1185 \pm 388$  mg/kg no rio Madeira e  $1167 \pm 943$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, que apresentou resultado inferior ao limite de quantificação do método (50 mg/kg), ao passo que a máxima foi observada na estação JAT I (Figura 5.2.4-10).

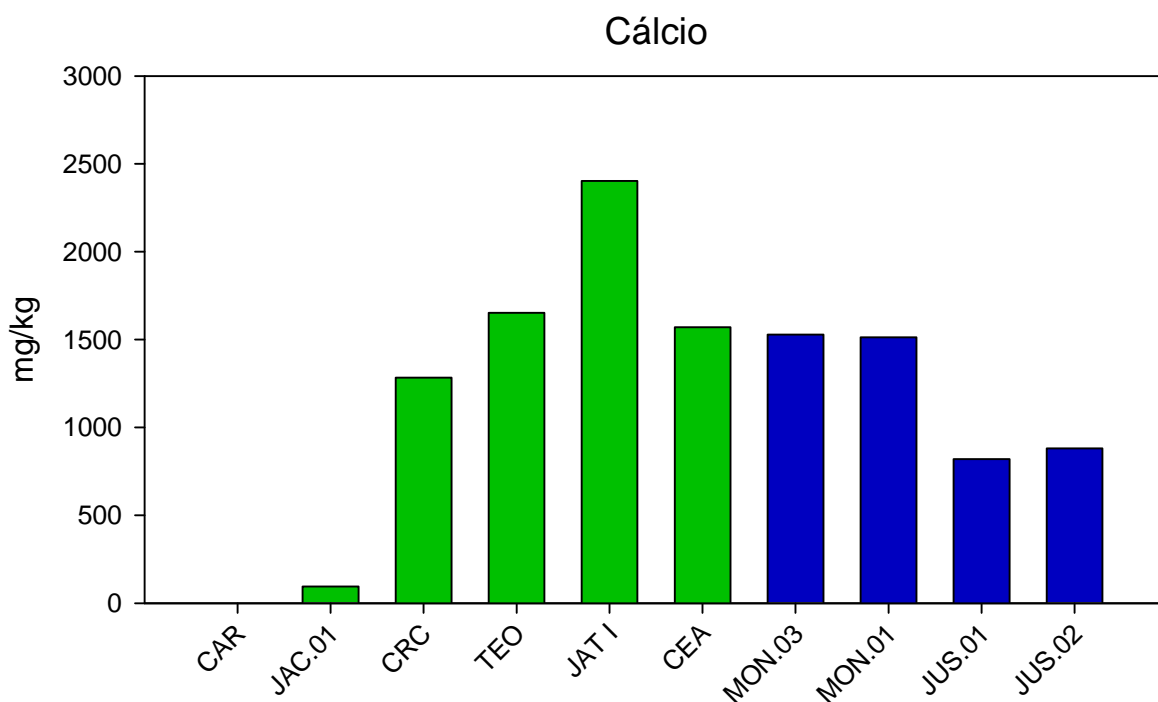


Figura 5.2.4-10 - Concentração de cálcio nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de magnésio foram de  $2337 \pm 1041$  mg/kg no rio Madeira e  $1532 \pm 1466$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, que apresentou resultado inferior ao limite de quantificação do método (50 mg/kg), ao passo que a máxima foi observada na estação TEO (Figura 5.2.4-11).

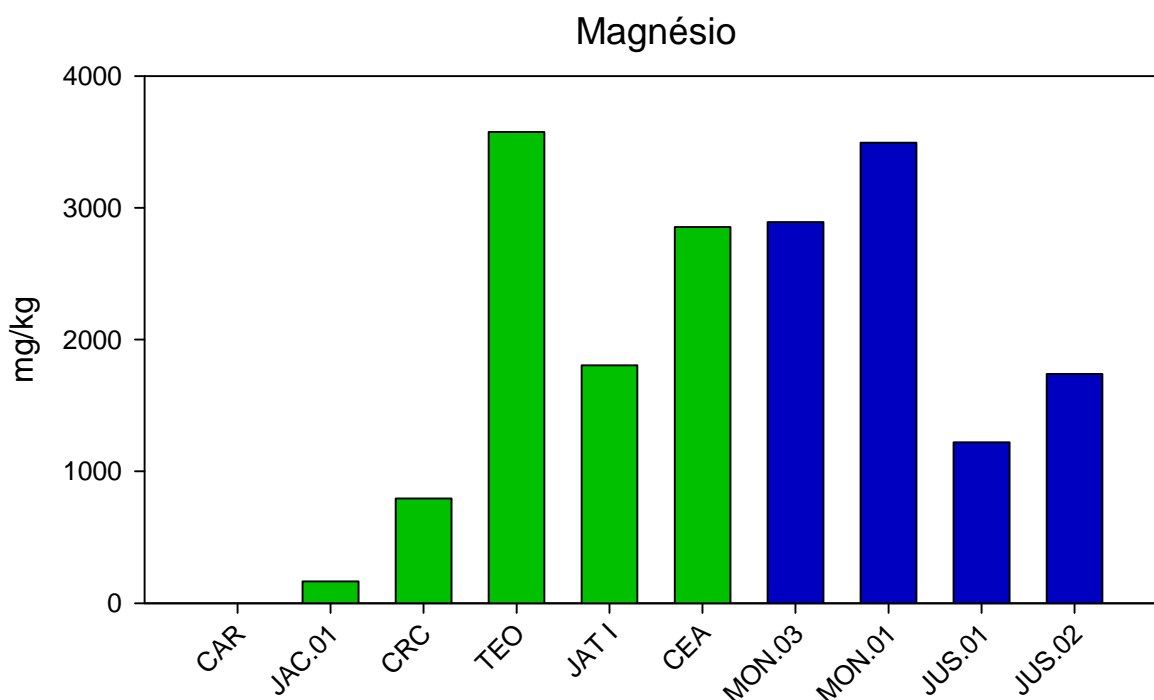


Figura 5.2.4-11 - Concentrações de magnésio nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

#### 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 presente. 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 em 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).

Em relação ao elemento cádmio no período avaliado, os resultados ficaram abaixo do limite de quantificação do método (0,1mg/kg) em todas as estações monitoradas e, conseqüentemente, estando abaixo dos valores de alerta (3,5 mg/kg) para sedimento de água doce nível 2 segundo a Resolução CONAMA 454/2012.

Em relação ao elemento estanho no período avaliado, os resultados ficaram abaixo do limite de quantificação do método (1mg/kg) em todas as estações monitoradas.

No rio Madeira, a concentração média de alumínio foi de  $5973 \pm 2716$  mg/kg, ao passo que nos tributários a concentração média foi de  $6726 \pm 4534$  mg/kg. As concentrações máxima e mínima foram registradas nas estações CAR e CRC, respectivamente (Figura 5.2.4-12).

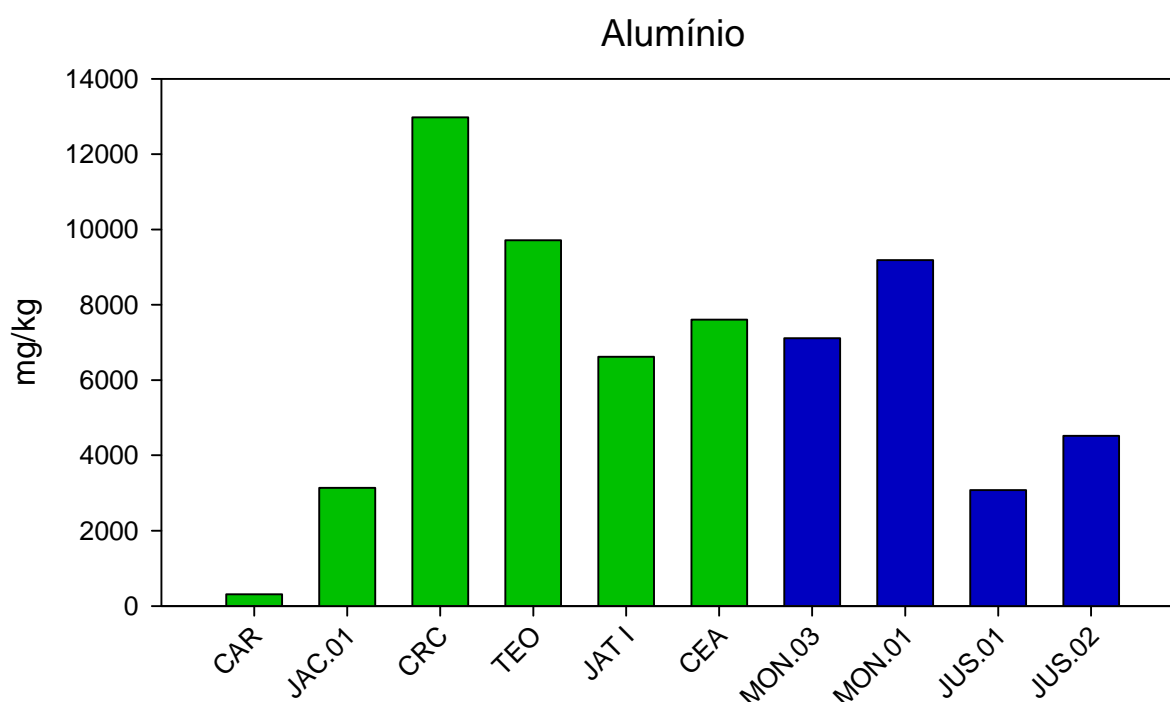


Figura 5.2.4-12 - Concentrações de alumínio nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

No rio Madeira, a concentração média de bário foi de  $57 \pm 26$  mg/kg, ao passo que nos tributários a concentração média foi de  $60 \pm 39$  mg/kg. As concentrações máxima e mínima, respectivamente foram registradas nas estações CAR ,abaixo do limite de quantificação do método (1mg/kg) e CRC. (Figura 5.2.4-13).

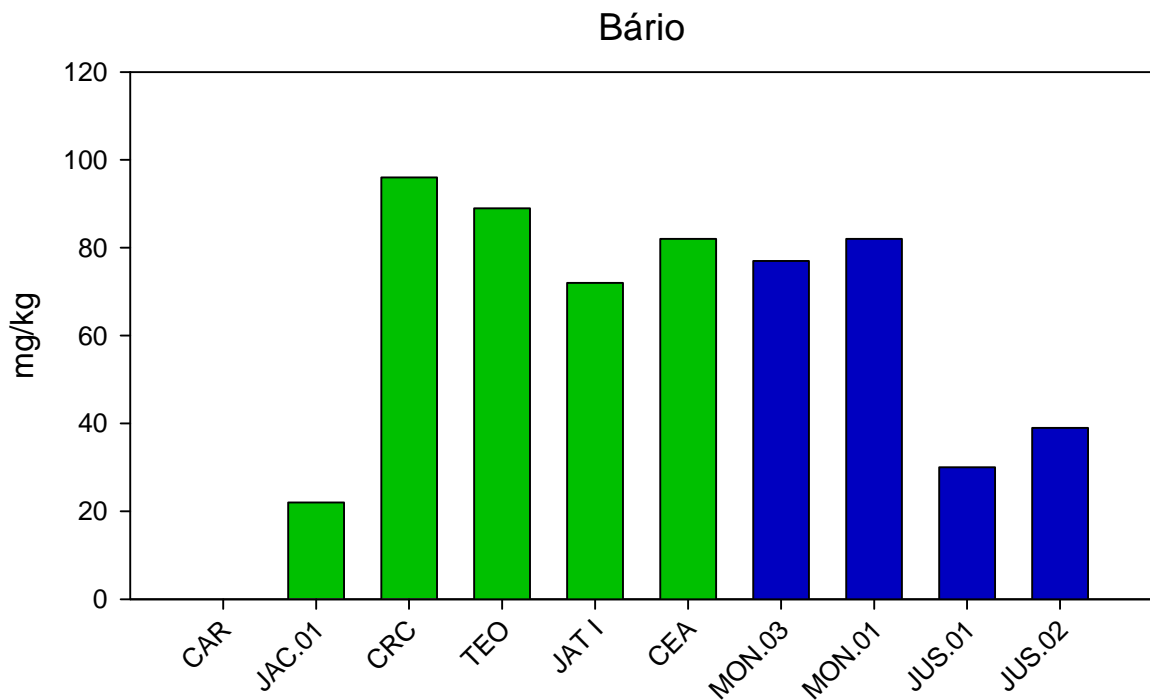


Figura 5.2.4-13 - Concentrações de bário nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de chumbo foram de  $8 \pm 2,8$  mg/kg no rio Madeira e  $10,8 \pm 4,3$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, que apresentou resultado inferior ao limite de quantificação do método (1 mg/kg), ao passo que a máxima foi observada na estação CRC (Figura 5.2.4-14). O valor de alerta de 91,3 mg/kg de chumbo estipulado para sedimentos de água doce nível 2 pela Resolução CONAMA 454/2012 não foi ultrapassado em nenhuma estação.

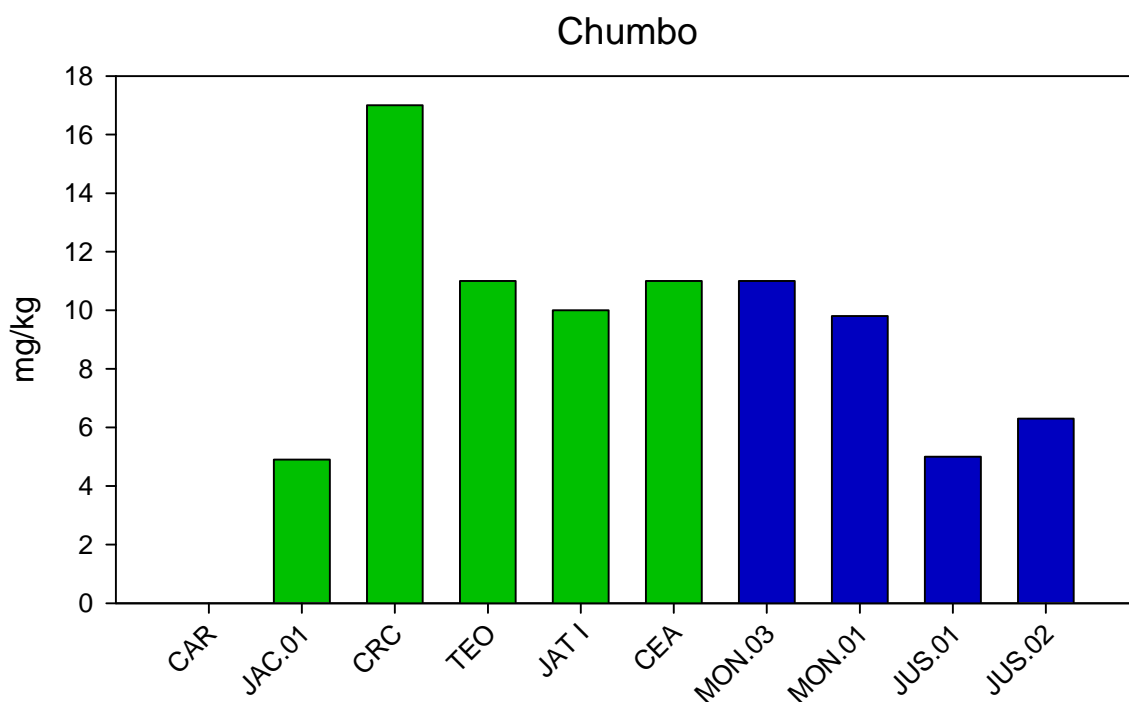


Figura 5.2.4-14 - Concentrações de chumbo nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de cobalto foram de  $8,8 \pm 2,6$  mg/kg no rio Madeira e  $5,1 \pm 4,3$  mg/kg nos tributários. As concentrações mínimas ocorreram nas estações CAR e JAC.01, abaixo do limite de quantificação do método (1 mg/kg), ao passo que a máxima foi observada na estação MON.03 (Figura 5.2.4-15).



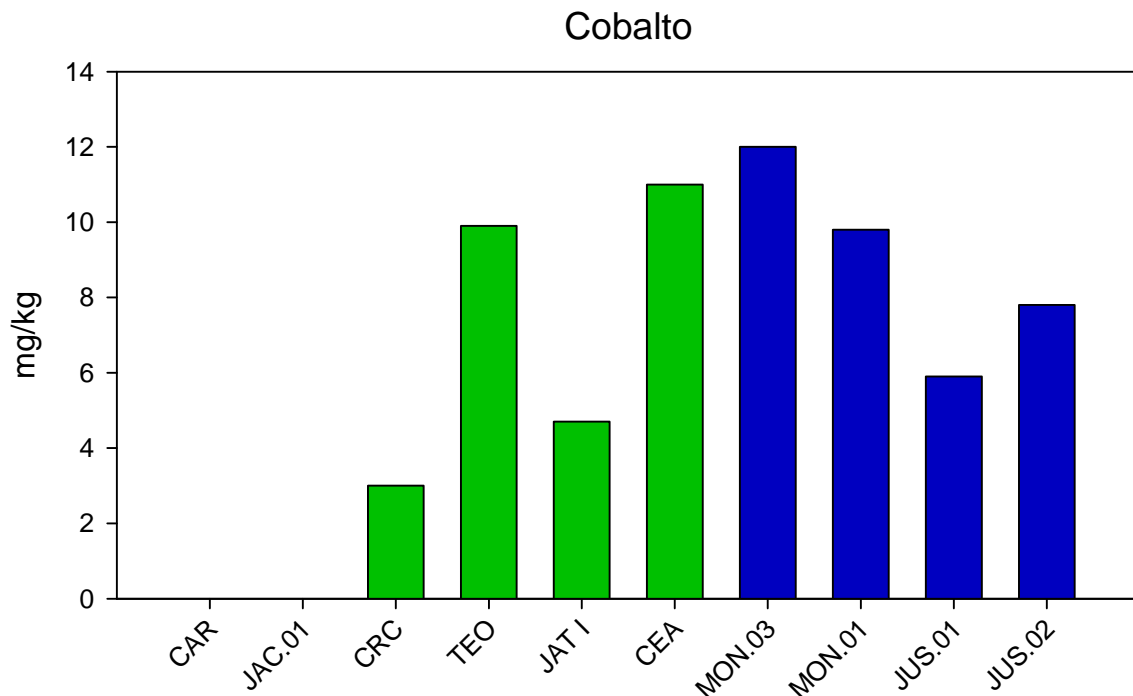


Figura 5.2.4-15 - Concentrações de cobalto nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de cobre foram de  $12,5 \pm 5,5$  mg/kg no rio Madeira e  $9,2 \pm 7,1$  mg/kg nos tributários. As concentrações mínimas foram registradas nas estações CAR e JAC.01, que apresentaram resultados inferiores ao limite de quantificação do método (1mg/kg), ao passo que a máxima foi observada na estação MON.03 (Figura 5.2.4-16). O valor de alerta de 197 mg/kg de cobre estipulado para sedimentos de água doce nível 2 pela Resolução CONAMA 454/2012 não foi ultrapassado em nenhuma estação.

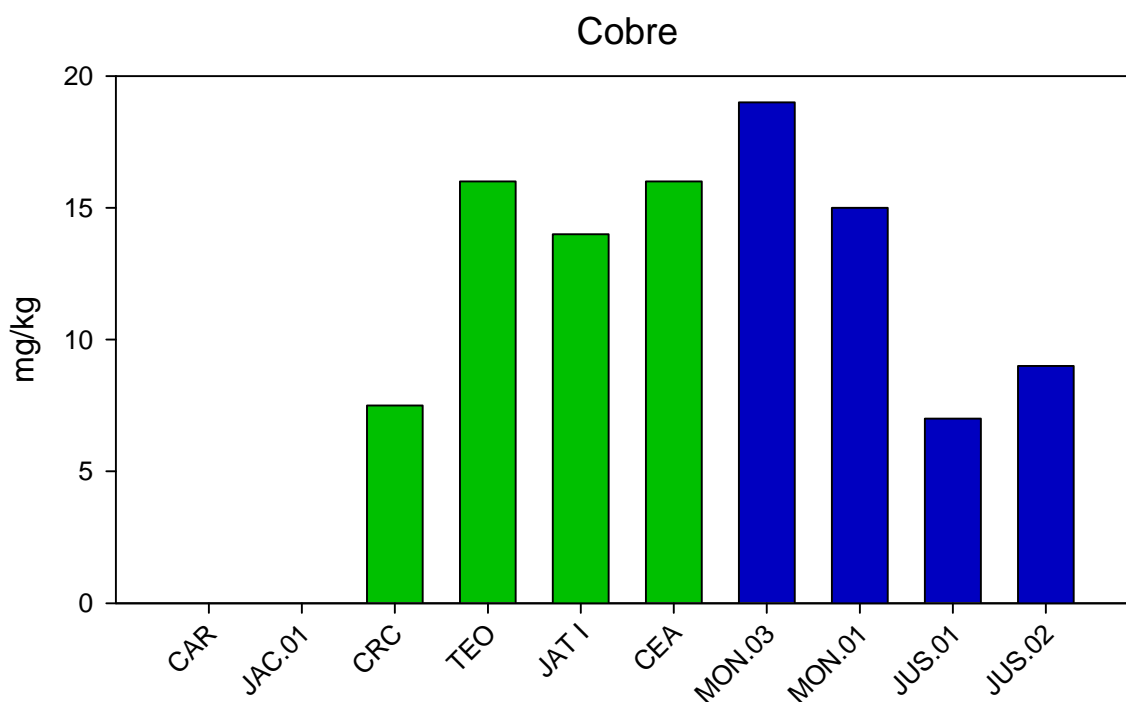


Figura 5.2.4-16 - Concentrações de cobre nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de cromo foram de  $10,3 \pm 3,7$  mg/kg no rio Madeira e  $9,6 \pm 5,4$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, que apresentou resultado abaixo do limite de quantificação do método (1mg/kg), ao passo que a máxima foi observada na estação TEO (Figura 5.2.4-17). O valor máximo de 90 mg/kg de cromo estipulado para sedimentos de água doce nível 2 pela Resolução CONAMA 454/2012 não foi ultrapassado em nenhuma estação.

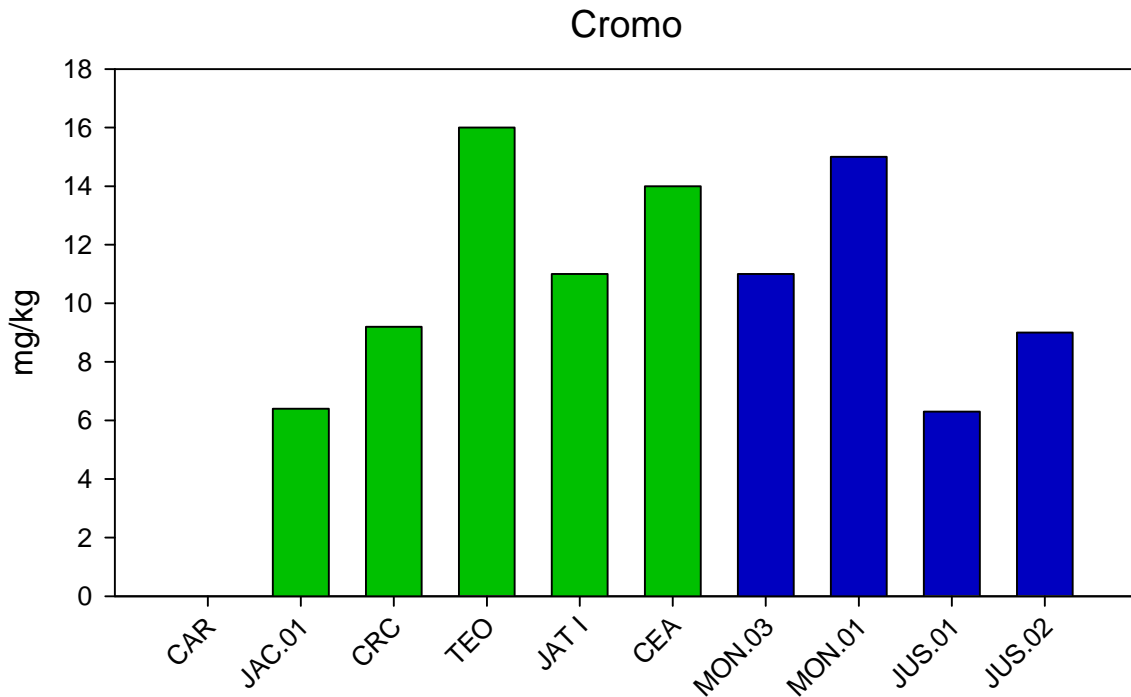


Figura 5.2.4-17 - Concentrações de cromo nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de ferro foram de  $18917 \pm 5598$  mg/kg no rio Madeira e  $13042 \pm 10131$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, ao passo que a máxima foi observada na estação TEO (Figura 5.2.4-18).

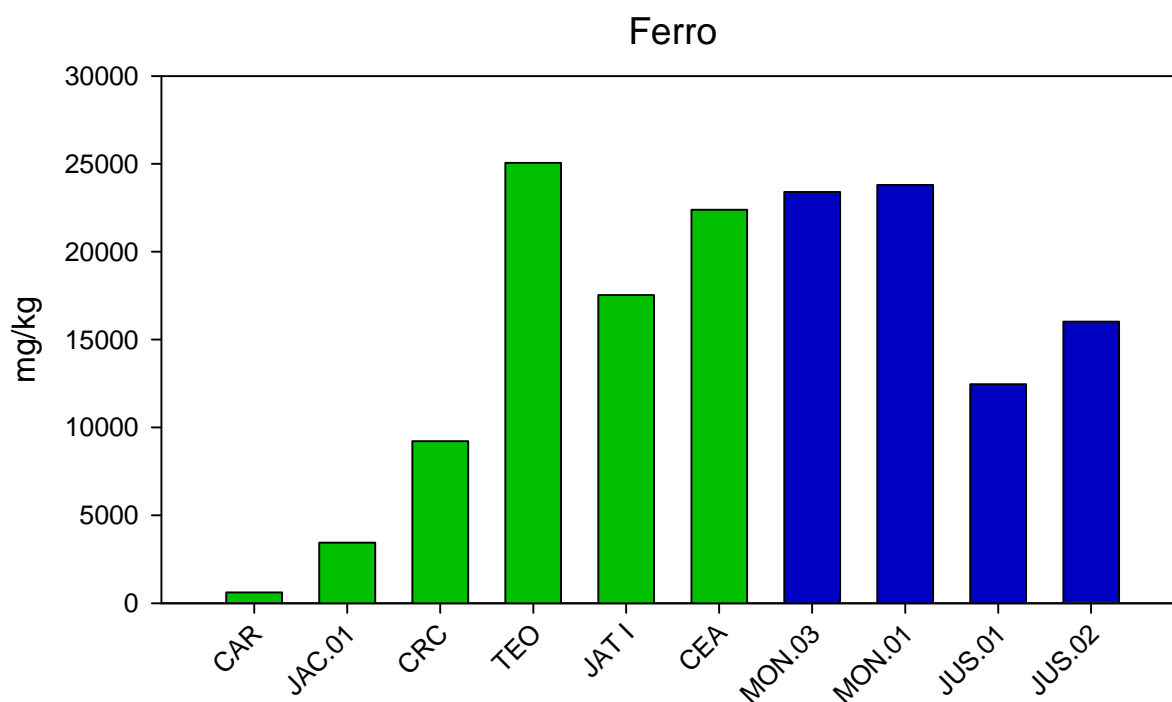


Figura 5.2.4-18 - Concentrações de ferro nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de manganês foram de  $314 \pm 114$  mg/kg no rio Madeira e  $250 \pm 202$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, ficando abaixo do limite de quantificação do método (1mg/kg) ao passo que a máxima foi observada na estação CEA (Figura 5.2.4-19).

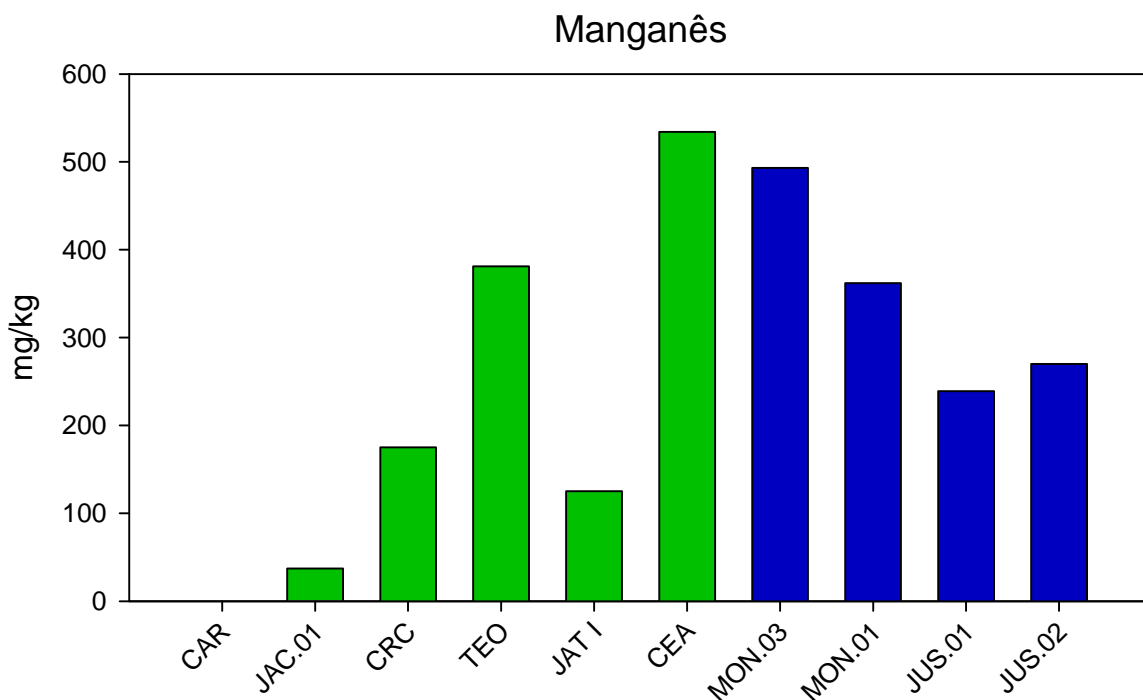


Figura 5.2.4-19 - Concentrações de manganês nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

Nos tributários, as concentrações de mercúrio ficaram abaixo do limite de quantificação do método (0,05 mg/kg) nas estações TEO e CEA, e a maior concentração foi medida na estação CAR (0,12 mg/kg). Nas estações do rio Madeira, o mercúrio só foi detectado no sedimento da estação MON.03 (0,24 mg/kg), ao passo que as demais estações apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação do método (0,05 mg/kg) (Figura 5.2.4-20). Embora o mercúrio tenha sido detectado em algumas localidades, todos os resultados estiveram abaixo do valor de alerta de 0,486 mg/kg estabelecido para sedimentos de água doce nível 2 pela Resolução CONAMA 454/2012.

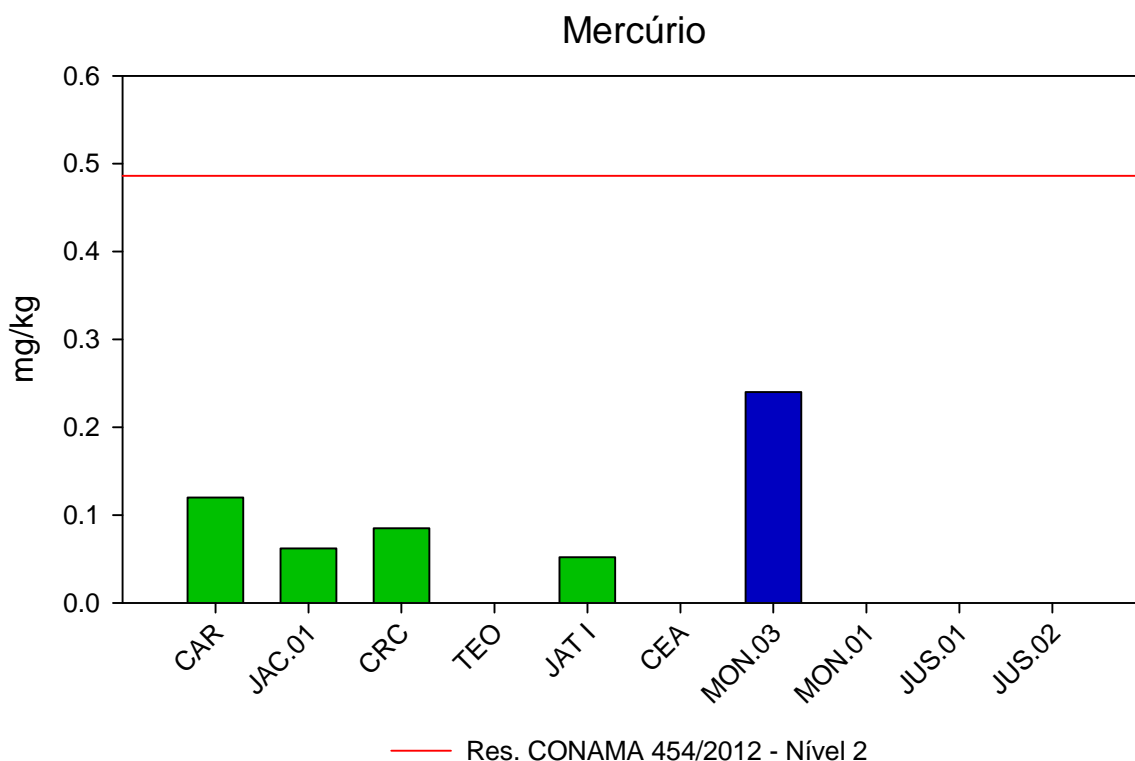


Figura 5.2.4-20 - Concentrações de mercúrio nos sedimentos amostrados no mês de novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de níquel foram de  $13,7 \pm 4,5$  mg/kg no rio Madeira e  $12,3 \pm 6,5$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu nas estações CAR e JAC.01, que apresentaram resultados inferiores ao limite de quantificação do método (1mg/kg), ao passo que a máxima foi observada na estação TEO (Figura 5.2.4-21). Todos os valores medidos foram inferiores a 35,9 mg/kg, que é o valor de alerta para sedimentos de água doce nível 2 segundo a Resolução CONAMA 454/2012.

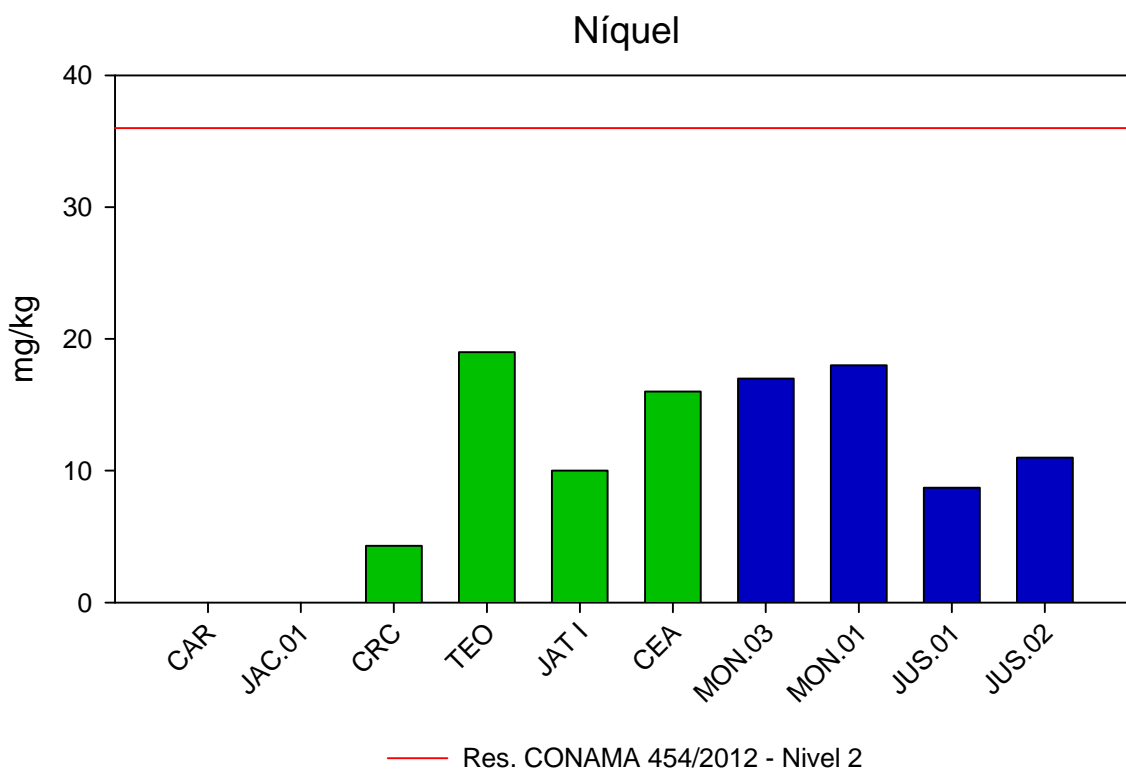


Figura 5.2.4-21 - Concentrações de níquel nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de zinco foram de  $58 \pm 16$  mg/kg no rio Madeira e  $43 \pm 26$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, ao passo que a máxima foi observada nas estações TEO e MON.01 (Figura 5.2.4-22). Todos os valores medidos foram inferiores a 315 mg/kg, que é o valor de alerta para sedimentos de água doce nível 2 segundo a Resolução CONAMA 454/2012.

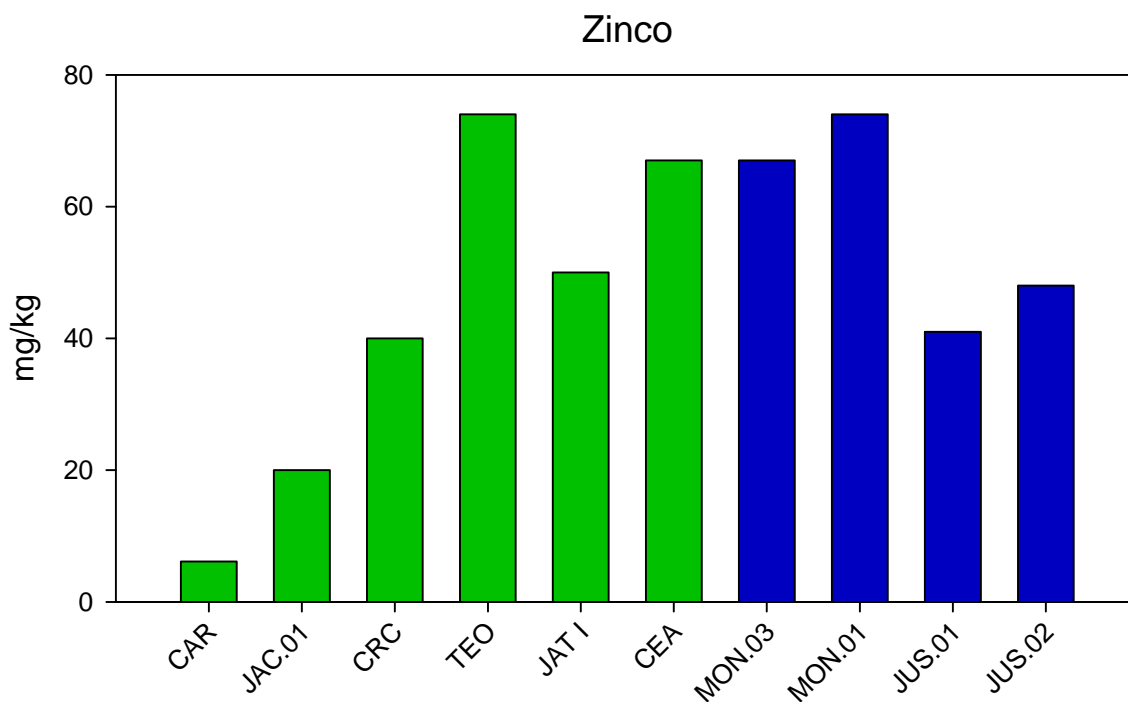


Figura 5.2.4-22 - Concentrações de zinco nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

As concentrações médias de silício foram de  $303 \pm 86$  mg/kg no rio Madeira e  $329 \pm 109$  mg/kg nos tributários. A concentração mínima ocorreu na estação CAR, ao passo que a máxima foi observada na estação CRC (Figura 5.2.4-23).



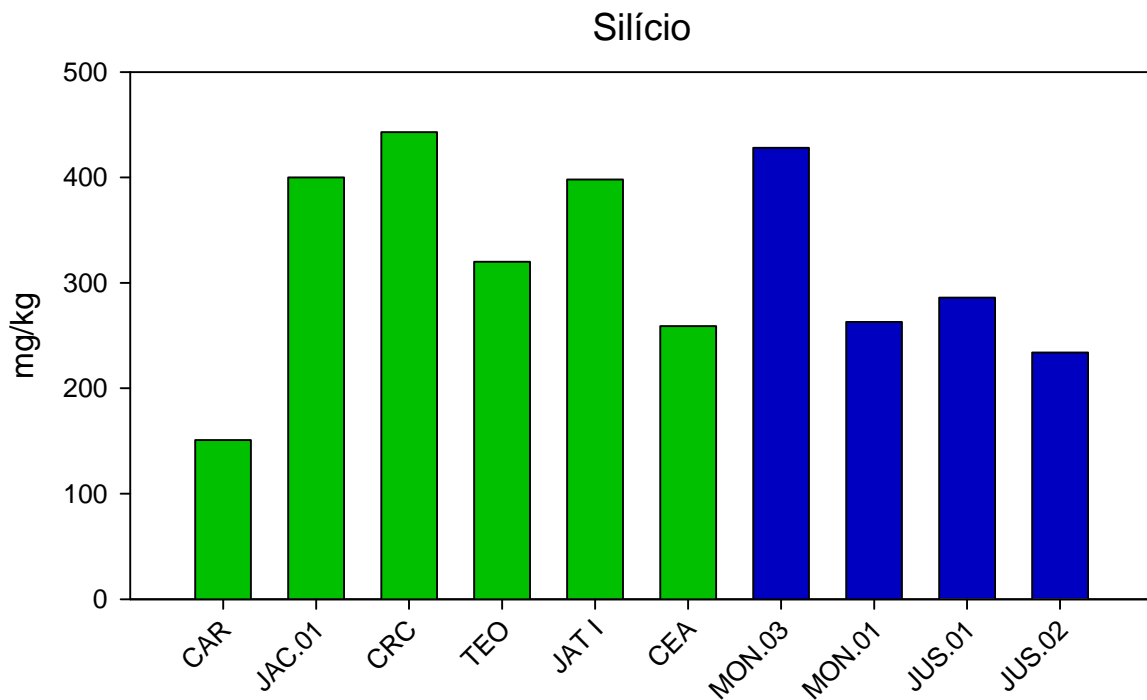


Figura 5.2.4-23 - Concentrações de silício nos sedimentos amostrados em novembro de 2012 (águas baixas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor verde e azul.

#### 5.2.4.6 - Compostos orgânicos (biocidas)

Em relação à lista de biocidas avaliados no período considerado, todos os PCBs e HPAs apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação e, conseqüentemente, estiveram abaixo dos valores de alerta para sedimento nível 2 segundo a Resolução CONAMA 454/2012.

### 5.2.4.7 - Discussão

No mês avaliado (novembro/2012), houve um predomínio da fração de granulometria fina (principalmente silte) no sedimento do trecho médio do rio Madeira e seus tributários. Apesar da natureza do material transportado no rio Madeira se diferir da natureza da de seus tributários, as estações situadas ao longo de seu curso apresentaram granulometria bem semelhante a dos rios e igarapés que nele desembocam. A estação com granulometria mais distinta foi CAR, que apresentou predominância de areia grossa.

O conteúdo de nutrientes essenciais (N, P, Na, Ca, K e Mg) no sedimento apresentou maior variação nas estações localizadas nos tributários e menor variação nas estações localizadas no rio Madeira no período avaliado. Em geral, a estação CAR, que apresentou composição granulométrica distinta, foi a que teve o sedimento mais pobre no que diz respeito aos nutrientes supracitados. Ao comparar os valores médios obtidos no período avaliado com os valores médios já obtidos pelo “Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Fase Implantação”, observa-se que os valores são semelhantes, considerando os altos desvios padrões.

De forma geral, observou-se que os elementos Cd e Sn ficaram abaixo do limite de quantificação do método em todas as estações de monitoramento no período amostrado. As concentrações de elementos-traço se dispõem, em ordem decrescente, da seguinte forma:

**Fe>Al>Si>Mn>Ba>Zn>Ni=Cu>Cr>Pb>Co>Hg**

Devido à sua origem andina, historicamente o rio Madeira transporta maiores concentrações desses elementos, 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). A tendência, a partir do enchimento, é que a concentração desses elementos no sedimento das estações de monitoramento dos tributários (principalmente as situadas na foz) sejam semelhantes as estações de monitoramento do rio Madeira situadas a montante do eixo da barragem. Esse padrão só não foi registrado na estação CAR.

De maneira geral, o rio Madeira e os tributários apresentaram baixas proporções de carbono orgânico total e matéria orgânica, o que também foi constatado ao longo do “**Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Áquáticas - Fase Implantação**”. 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 dos ambientes aquáticos na região do médio rio Madeira podem ser classificados como minerais.

As concentrações de todas essas variáveis estão dentro da amplitude de variação registrada nas campanhas de monitoramento passadas, nos respectivos ambientes. Todas as variáveis também se mantiveram abaixo dos valores de alerta estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012.