

RELATÓRIO TÉCNICO DA COMISSÃO DAS ÁGUAS

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS E SEDIMENTOS DAS MICROBACIAS
DO RIBEIRÃO DAS ANTAS E DO RIBEIRÃO DE CALDAS NO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS

COORDENADORA DA COMISSÃO DAS ÁGUAS

Vereadora Dra. Regina Cioffi Batagini

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (ASSEMAE)

Câmara Municipal de Poços de Caldas (CMPC)

Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (CBH)

Departamento de Meio Ambiente da Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente da Prefeitura de Poços de Caldas (DMA)

Departamento Municipal de Água e Esgoto – Poços de Caldas (DMAE)

Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)

Diretoria de Recursos Minerais das Indústrias Nucleares do Brasil (INB)

ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO TÉCNICO: CNEN, DMA, DMAE E INB

MARÇO DE 2012

1. INTRODUÇÃO

Após a realização de uma Audiência Pública no dia 02 de setembro de 2010 sobre os “Possíveis Agravos Ambientais, com Repercussão nas Águas do Município de Poços de Caldas”, a vereadora Regina Cioffi da Câmara Municipal de Poços de Caldas teve a iniciativa de realizar reuniões técnicas para a análise da qualidade das águas de nosso município, solicitando a criação de uma comissão que foi intitulada “Comissão das Águas”. Essa preocupação surgiu a partir de informações de que as águas da Bacia de Águas Claras, antiga Bacia de Captação da Unidade de Tratamento de Minérios da INB em Caldas, teriam sofrido um dano ambiental em função da passagem de uma quantidade do material que se encontra depositado na Bacia de Decantação D4. Além deste fato, houve o interesse de se investigar as concentrações de metais e a microbiologia das microbacias do Ribeirão das Antas, do Cipó e do Bortolan, para que fosse estabelecido um panorama da qualidade das águas que atravessam o município de Poços de Caldas.

Em função da necessidade de estudos para a verificação destes eventuais agravos, a Comissão das Águas estabeleceu um Termo de Referência, onde o intuito do presente trabalho foi definido como sendo “coletar amostras de água e sedimentos com o objetivo de realizar análises químicas e microbiológicas, incluindo análises de elementos radioativos” para identificação de sua composição.

No sentido de avaliar a qualidade das águas utilizadas pelo Município de Poços de Caldas, ou que atravessam o mesmo, foram selecionados 21 (vinte e um) pontos de amostragem, onde foram coletadas amostras de água e sedimento. Os pontos foram selecionados de tal maneira que fosse possível identificar possíveis fontes de contaminação dos corpos d’água. As campanhas de coleta foram realizadas bimestralmente ao longo de um ano hidrológico, totalizando 6 (seis) campanhas. Assim, puderam ser avaliadas as questões relacionadas aos aspectos meteorológicos, tais como o índice pluviométrico e os períodos de chuva ou de seca.

Todas as amostras foram processadas e diversos parâmetros foram determinados, incluindo parâmetros físico-químicos, concentrações de elementos químicos estáveis e radioativos, além de parâmetros microbiológicos.

Os resultados obtidos indicam que alguns pontos apresentam concentrações elevadas de alguns elementos, incluindo cargas biológicas significativas.

2. PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

2.1. Pontos de coleta

Os pontos de amostragem estão descritos abaixo e podem ser localizados no mapa da Figura 2.1 a seguir.

Ponto 1 – Equivalente ao Ponto 703 da INB. Está localizado a montante da lagoa grande do Córrego do Cercado. Acesso por dentro da INB, aproximação inicial de carro, aproximação final a pé.

Ponto 2 – Foz do Córrego Pitangueiras. Acesso de barco, pela Bacia de Águas Claras.

Ponto 3 – Local de lançamento do efluente da Bacia D4 da INB na Bacia de Águas Claras, a jusante do Ponto 041 da INB. Acesso de barco, pela Bacia de Águas Claras.

Ponto 4 – Local equidistante dos Pontos 041 e 014 da INB, dentro da Bacia de Águas Claras. Acesso de barco pela Bacia de Águas Claras.

Ponto 5 – Local a montante da Barragem de Águas Claras, próximo do Ponto 014 da INB. Acesso de barco pela Bacia de Águas Claras.

Ponto 6 – Foz do Córrego Aterrado. Acesso de barco pela porção sudoeste da Bacia de Águas Claras.

Ponto 7 – Foz do Córrego Cachoeirinha. Acesso de barco pela porção sudoeste da Bacia de Águas Claras.

Ponto 8 – Ribeirão Tamanduá, a montante do encontro com o Ribeirão das Antas. Vindo pela estrada de acesso da INB (sentido INB-BR-146), aproximadamente 300 metros antes do trevo com a Rodovia BR-146, lado esquerdo da estrada.

Ponto 9 – Equivalente ao Ponto 003 da INB. Ribeirão das Antas, a jusante da foz do Córrego Tamanduá. Acesso pela Rodovia BR-146, sentido Andradadas-Poços de Caldas, na ponte logo após o trevo da INB, lado esquerdo da Rodovia.

Ponto 10 – Córrego Moinhos, que recebe efluentes do Aterro Sanitário. Acesso pela Rodovia BR-146, sentido Andradadas-Poços de Caldas, logo após a entrada do Aterro Sanitário, lado direito da Rodovia.

Ponto 11 – Referência Represa do Cipó. Ponto dentro da Represa, o mais distante possível da Barragem, próximo da foz do Córrego Cipó. Aproximação inicial pela Rodovia BR-146, entrar à esquerda na estrada de terra que liga a BR-146 a Rodovia Geraldo Martins Costa (GM Costa). Entrar na portaria (trancada com chave) que fica à esquerda. Aproximação final de carro pela margem leste da Barragem, passando pela crista, em seguida acessando de barco.

Ponto 12 – Córrego Cipó. Ponto a jusante da Represa do Cipó, no local onde fica instalada a bomba de captação para a Estação de Tratamento de Águas 5 (ETA-5). Acesso pela estrada de terra que liga a BR-146 a Rodovia Geraldo Martins Costa (GM Costa). Entrar à direita na porteira (trancada com chave) que fica a aproximadamente 300 metros da Rodovia GM Costa.

Ponto 13 – Ribeirão das Antas. Ponto a jusante da foz do Ribeirão das Vargens. Acesso pela Rodovia GM Costa, sentido Alcoa-CBA, lado esquerdo, aproximadamente 50 metros antes da ponte da ETA-5.

Ponto 14 – Represa do Bortolan, próximo da foz do Córrego das Amoras. Acesso de barco. Rampa de acesso do barco na oficina de embarcações.

Ponto 15 – Represa do Bortolan, próximo da Barragem do Bortolan. Acesso de barco. Rampa de acesso do barco na oficina de embarcações.

Ponto 16 – Ribeirão das Antas, a jusante da Barragem do Bortolan, na Cachoeira Lua de Mel (referência Kartódromo). Acesso a pé.

Ponto 17 – Represa Saturnino de Brito. Acesso a pé pelo Restaurante Panela de Pedra.

Ponto 18 – Ribeirão de Caldas. Ponto a montante do Café Concerto, na ponte de pedestres que liga o Parque José Afonso Junqueira com a Rua Junqueiras.

Ponto 19 – Ribeirão da Serra. Ponto a montante do Café Concerto, na ponte de pedestres que liga o Parque José Afonso Junqueira com a Praça Getúlio Vargas (referência Relógio Floral).

Ponto 20 – Ribeirão dos Poços. Ponto na Avenida Mansur Frayha, em frente ao Shopping e à Rodoviária.

Ponto 21 – Exutório do Ribeirão das Antas. Ponto a montante da Cascata das Antas (referência Fazenda do Osório).

Obs1: Para efeitos do presente trabalho, considera-se os pontos 1, 2, 6, 7 e 11 como pontos de referência para radiação natural.

Obs2: Para os elementos estáveis apenas o ponto 1 será considerado como referência de padrão ambiental, enquanto que para os parâmetros microbiológicos os pontos 1 e 11 serão considerados.

Obs3: Os pontos 1, 6, 7, 8, 10, 11, 17, 18, 19 e 20 estão localizados em corpos d'água sem nenhuma interferência dos efluentes da INB. Desta forma, podem ser considerados pontos de referência para efeitos de comparação com os efluentes da INB.

Obs4: Conforme estabelecido no Termo de Referência, o DMAE fez amostragem de todos os pontos. Entretanto, nos pontos 1, 2, 3, 4 e 6 não foram realizadas as análises de DBO, óleos e graxas, coliformes totais e coliformes fecais (termotolerantes).

Obs5: Conforme estabelecido no Termo de Referência, as análises de organoclorados, organofosforados e cianobactérias foram realizadas pelo Laboratório Ecolabor (sob contratação do DMAE) somente na 3ª campanha de amostragem.

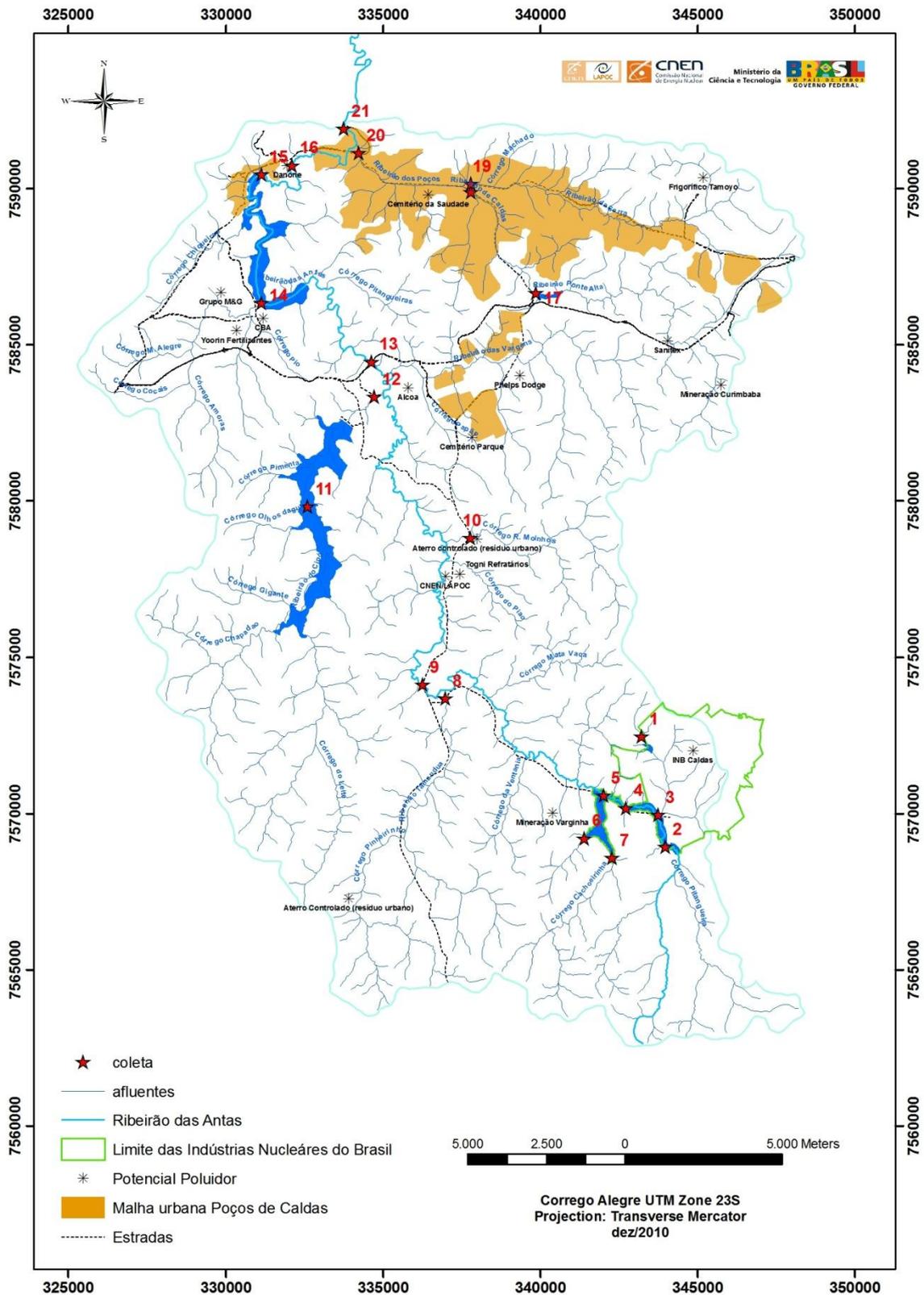


Figura 2.1 – Mapa com os 21 pontos de amostragem.

2.2. Procedimento de coleta

Conforme definido no Termo de Referência, a Responsável Técnica pelo presente trabalho é a Diretora do Departamento de Meio Ambiente (DMA) da Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente da Prefeitura de Poços de Caldas, Sra. Raquel Campedeli Corrêa. Todas as campanhas de amostragem foram executadas por técnicos da CNEN, INB e DMAE, com acompanhamento de profissionais do DMA. Em algumas campanhas de amostragem, outros membros do Grupo Técnico também acompanharam os trabalhos, incluindo a coordenadora do grupo. As seis campanhas de coleta foram realizadas nos dias 18/11/2010, 26/01/2011, 17/03/2011, 18/05/2011, 03/08/2011 e 05/10/2011.

Em função da quantidade de pontos e das características de cada ponto, cada campanha de amostragem foi realizada por duas equipes. Uma equipe fez a coleta nos pontos com acesso a pé (total de doze pontos), e outra equipe fez a coleta nos pontos com acesso de barco (total de nove pontos).

As amostras de água tomadas em cada ponto de coleta foram coletadas em diversos frascos diferentes:

- 2 (dois) frascos plásticos com tampa com capacidade para 5 (cinco) litros cada um. Um frasco de 5 (cinco) litros foi destinado à CNEN para as análises radiométricas. O outro frasco de 5 (cinco) litros foi destinado à INB para as análises químicas;
- 1 (um) frasco esterilizado de vidro, tampado com papel alumínio, destinado ao DMAE para as análises microbiológicas;
- 1 (um) frasco de vidro, com tampa, com capacidade de 1 (um) litro, preservado com ácido clorídrico (HCl), destinado ao DMAE para as análises de óleos e graxas;
- frascos plásticos, destinados ao DMAE para determinação de parâmetros físico-químicos em laboratório.

As amostras de sedimento tomadas em cada ponto de coleta foram armazenadas em sacos plásticos com capacidade para 20 (vinte) quilogramas de material. Foram utilizadas dragas específicas para coleta de sedimentos. No caso das coletas a partir da margem de rios, foi utilizada uma draga de arraste. No caso das coletas de barco no interior de lagos ou represas, foi utilizada uma draga do tipo Van Veen.

A CNEN realizou a preparação das amostras de sedimento, incluindo a secagem e a separação granulométrica. Após a chegada das amostras no laboratório, o material passou por secagem em estufa regulada na temperatura de 110 °C. Em seguida, o material foi peneirado até obter-se apenas partículas menores que 200 Mesh-Tyler (“Micropollutants in River Sediments: Reporto n a WHO Working Group”; WHO Regional Office for Europe; 1982).

Em seguida, foram separadas três alíquotas de cada amostra. Uma alíquota de 100 (cem) gramas foi encaminhada à INB para as análises químicas. Outra alíquota de 100 (cem) gramas foi encaminhada ao Laboratório de Química Analítica do LAPOC/CNEN para as análises de urânio e tório. E o material restante foi encaminhado ao Laboratório de Radônio do LAPOC/CNEN para as análises de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb .

2.3. Análises radiométricas, químicas e microbiológicas

Três instituições ficaram responsáveis pelas análises radiométricas, químicas e microbiológicas. A CNEN realizou as análises radiométricas (amostras de água e sedimentos), a INB realizou as análises químicas (amostras de água e sedimentos) e o DMAE realizou as análises microbiológicas e determinou os parâmetros físico-químicos (somente amostras de água). O detalhamento das determinações que foram realizadas está descrito abaixo.

Além das análises microbiológicas e determinações de parâmetros físico-químicos, o DMAE contratou o Laboratório Ecolabor (certificado pelo órgão competente) para realizar análises de compostos organoclorados, organofosforados e cianobactérias. Estas análises foram realizadas em amostras de água coletadas simultaneamente durante a terceira campanha de coleta no dia 18/03/2011, utilizando-se vidraria específica para este fim.

2.3.1. As análises radiométricas realizadas nas amostras de água e sedimento foram:

- Urânio, Tório, ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb

O procedimento de solubilização de amostras sólidas para determinação de urânio e tório foi ataque multiácido com ácido perclórico (HClO_4), ácido fluorídrico (HF) e ácido nítrico (HNO_3). Com a amostra já solubilizada, as concentrações de urânio e tório foram determinadas por espectrofotometria de absorção molecular usando arsenazo III como reagente colorimétrico. Urânio e tório foram extraídos com solventes e adição de agentes complexantes para eliminar interferências.

As concentrações de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb em água foram determinadas por separação radioquímica seguida por contagem alfa e beta total. Este procedimento é baseado na separação e precipitação dos sais cromato de chumbo e sulfato de rádio com posterior contagem alfa e beta de alguns radionuclídeos que são produtos de decaimento dos isótopos em análise, tais como, por exemplo, ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po , ^{228}Ac , ^{214}Pb e ^{214}Bi . As atividades dos radionuclídeos foram determinadas com um sistema de contagem de radiação alfa e beta com pouca influência da radiação de fundo.

As concentrações de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb nas amostras de sedimento foram determinadas por espectrometria gama, conforme segue. As amostras secas foram acondicionadas e vedadas em caixas metálicas por trinta dias, tempo suficiente para assegurar o equilíbrio radioativo entre o ^{226}Ra e seus filhos ^{214}Pb e ^{214}Bi . A espectrometria gama foi efetuada com o detector CANBERRA HPGe (eficiência relativa de 20%) e software Genie 2000 de análise espectral. A determinação do ^{226}Ra foi feita pelos fotopicos 609 keV e 1020 keV do ^{214}Bi e 351 keV do ^{214}Pb . O fotopico 186,1 keV do ^{226}Ra não foi considerado devido à sua baixa intensidade e à interferência do fotopico 185,7 keV do ^{235}U . Para a determinação do ^{228}Ra , foi utilizado o fotopico do 911 keV do seu filho ^{228}Ac , de meia-vida curta ($T_{1/2} = 6,12$ h). Para a determinação do ^{210}Pb , utilizou-se o seu fotopico em 46,5 keV que, devido à baixa energia, necessitou correção de autoabsorção.

2.3.2. As análises químicas realizadas nas amostras de água e sedimento foram:

- Alumínio (Al), Silício (Si), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Molibdênio (Mo), Bário (Ba), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Vanádio (V), Titânio (Ti), Óxido de Ítrio (Y_2O_3), Óxido de Terras Raras (TR_2O_3), Íon Fluoreto (F^- , analisado apenas no sedimento), Íon Sulfato (SO_4^{2-}), Sódio (Na) e Potássio (K)

Segue abaixo uma descrição sucinta das metodologias aplicadas para a quantificação total desses elementos presentes no sedimento. Esta metodologia foi adotada para identificação da composição química total e não se aplica para ensaios de biodisponibilidade.

- **Abertura de Amostras para a análise dos elementos:** Al, Si, P, Ca, Mg, Mn, Fe, Mo, Ba, Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, V, Ti, Y_2O_3 , TR_2O_3 , SO_4 , Fluoreto.
Princípio: Abertura Total Alcalina – O sedimento é colocado totalmente em solução por fusão alcalina (entre 800 °C e 900 °C), utilizando uma mistura de carbonato de sódio e ácido bórico para dissolução completa de todos os componentes presentes na amostra. A amostra fria é retomada para nova digestão a quente com ácido clorídrico.
- **Abertura de Amostras para a análise dos elementos:** Na e K
Princípio: Abertura Total Ataque tri-ácido – O sedimento é colocado totalmente em solução por ataque a quente de uma mistura de ácidos (ácidos nítrico, fluorídrico e perclórico).
- **Análise de Metais elementos estáveis de sedimento por ICP OES:** Al, Si, P, Ca, Mg, Mn, Fe, Mo, Ba, Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, V, Ti, Y_2O_3 , TR_2O_3 , SO_4 , Fluoreto.
Espectrometria de Emissão Óptica de Plasma de Argônio Indutivamente acoplado (ICP OES). O método é baseado na introdução de uma névoa da amostra líquida em uma chama de plasma e medição da quantidade de luz emitida pelos elementos. Esta emissão é proporcional à concentração do elemento medido e, assim, é possível realizar a quantificação.
- **Análise de Na e K por Fotometria de Chama: EF**
A análise de sódio e potássio foi realizada utilizando a técnica de fotometria de chama, baseada na emissão óptica desses elementos quando submetidos a uma chama da queima de GLP com ar. Esta emissão é proporcional a concentração do elemento medido e, assim, é possível realizar a quantificação.
- **Documentos de Referência:**
As IA's utilizadas foram baseadas no *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 20th ed.*
Na, K: baseado no método 3500
Metais: baseado no método 3120
F: baseado no método 4500
PSQ-DRM-04-04 – Procedimento – Emissão de Instruções de Análises.
IA-UTM-CP-004 – Determinação de Metais (Matriz Alumínio) em Água e Sedimento por ICP
IO-UTM-PD-003 – Manual de Instruções e Operação do ICP Spectroflame Modula S/E versão 5/98 - Software 2.20 da Spectro
Manual de Instruções do Fotômetro de Chama da Digimed modelo DM-61
IA-UTM-CP-033 – Determinação de Sódio e Potássio por Fotometria de Chama – EF

NOTA: nas análises de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb , a fração particulada das amostras de água foi solubilizada e analisada conjuntamente com a fração solúvel. Nas análises de urânio, tório e elementos químicos estáveis, a amostra de água original foi atacada quimicamente para solubilizar o particulado, analisando-se em seguida a solução resultante.

2.3.3. As análises microbiológicas e determinações físico-químicas realizadas nas amostras de água foram:

- Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos totais dissolvidos (TDS), Turbidez, Íon Fluoreto (F⁻), Coliformes fecais (termotolerantes), Coliformes totais, Nitrato, Óleos e graxas, Organoclorados, Organofosforados e Cianobactérias

Segue abaixo uma descrição sucinta de cada um desses parâmetros, além das metodologias aplicadas para obtenção das medidas.

- **Turbidez:** A turbidez na água é causada pela presença de materiais em suspensão tais como argila, sílica, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida e organismos microscópicos. Estes materiais ocorrem em tamanhos diversos variando desde as partículas maiores que se depositam até as que permanecem em suspensão por muito tempo.

Metodologia: nefelometria.

- **Fluoreto:** Os fluoretos estão presentes em quase todas as águas naturais, em maior ou menor concentração, variando com a fonte e/ou com a contaminação devido a lançamento de despejos industriais.

Metodologia: Colorimetria.

- **Oxigênio Dissolvido (OD):** O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros mais importantes de que se dispõe no campo de controle da poluição das águas, como por exemplo para se verificar e manter condições aeróbicas num curso d'água que recebe material poluidor. A presença de oxigênio dissolvido é de importância vital para os seres aquáticos aeróbicos.

Metodologia: Oxímetro (sonda)

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):** É a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação biológica e química das substâncias oxidáveis contidas na amostra, nas condições do teste.

Metodologia: Respirometria (DBO TRACK – HACH)

- **Sólidos Totais:** Nas águas naturais, os sólidos estão constituídos, principalmente de carbonos, bicarbonatos, sulfatos, fosfatos e possivelmente nitratos de cálcio, magnésio e outras substâncias. Altas concentrações de sólidos totais dissolvidos são objetáveis pelos efeitos fisiológicos possíveis, sabor mineral e consequências econômicas.

Metodologia: Potenciometria

- **Nitrato:** A contaminação ambiental pelo nitrato é resultado da sua lixiviação em solos, causada pelo uso de fertilizantes. Além disso, efluentes urbanos podem contribuir com até 40% dos nitratos presentes em águas superficiais e solos.

Metodologia: Espectrofotometria

- **pH:** É uma medida da acidez e alcalinidade que indica a concentração de íons hidrogênio (H^+) em águas ou outros meios líquidos. Águas com pH menor que 7,0 são ácidas, maiores que 7,0 são alcalinas e com pH igual a 7,0 são neutras. As águas naturais em geral têm pH compreendido entre 4,0 e 9,0. Valores diferentes podem ser atribuídos ações antrópicas próximas ao corpo hídrico.

Metodologia: Potenciometria

- **Óleos e Graxas:** Grupo de substâncias incluindo gorduras, graxas, ácidos graxos livres, óleos minerais e outros materiais graxos.

Metodologia: Gravimetria

- **Coliformes Totais e Fecais:** Para a avaliação das condições sanitárias de uma água, utilizam-se bactérias do grupo coliforme, que atuam como indicadores de poluição fecal, pois estão sempre presentes no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminadas em grandes números pelas fezes. A presença de coliformes na água indica poluição com o risco potencial da presença de organismos patogênicos, e sua ausência é evidência de uma água bacteriologicamente potável, uma vez que são mais resistentes na água que as bactérias patogênicas de origem intestinal.

Metodologia: Tubos Múltiplos – Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – 17ª ed.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os resultados numéricos obtidos no presente trabalho estão apresentados a seguir na forma gráfica, especificamente através de barras verticais. Cada gráfico mostra as concentrações ou valores medidos em cada ponto de amostragem (de 1 a 21, exceto na primeira campanha, na qual foram coletadas amostras nos pontos de 1 a 16) e em cada uma das seis campanhas de coleta realizadas. Cada campanha de coleta, por sua vez, foi identificada com uma cor diferente conforme a legenda de cada gráfico. Desta forma é possível visualizar comparativamente as variações entre os pontos de amostragem e entre as diferentes coletas. Para facilitar a visualização da proporção entre diferentes valores dos gráficos, em alguns casos foi utilizada uma escala de valores logarítmica. Em outros casos, onde há grande variação entre valores máximo e mínimo, foi utilizado um recurso de quebra de escala.

Além dos resultados obtidos, e quando estabelecidos por leis ou atos de licenciamento, os gráficos também apresentam valores de referência ou limites aplicáveis.

3.1. Resultados obtidos nas amostras de água

Para efeito de comparação dos valores obtidos com um limite de referência, foram utilizados os limites estabelecidos na resolução CONAMA nº 357/05 para água padrão classe II, conforme estabelecido no artigo 42, já que não há enquadramento legal dos corpos de água avaliados. Esta resolução foi publicada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 17 de março de 2005, e foi posteriormente complementada e alterada pela resolução CONAMA nº 430, publicada pelo mesmo órgão em 13 de maio de 2011.

A Figura 3.1.1 apresenta o pH das águas. Quase todos os valores encontram-se dentro da faixa permissível estabelecida na resolução CONAMA 357/05, observando-se uma elevação dos valores na 4ª campanha, mas ainda dentro dos limites estabelecidos nas normas. Nos resultados da 5ª coleta, observa-se valores ligeiramente abaixo do limite para os pontos 1 e 2. Note-se, entretanto, que o ponto 1 é um ponto sem atividades antrópicas a montante e o ponto 2 é um ponto sem atividades industriais a montante.

A Figura 3.1.2 apresenta os valores de turbidez na água. Nota-se que mesmo havendo alguma variação entre os valores obtidos esta não é significativa e todos os valores encontram-se dentro dos limites estabelecidos na resolução CONAMA 357/05.

A Figura 3.1.3 apresenta as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) na água. Note-se que, para o caso da concentração de oxigênio dissolvido, valores medidos devem ficar acima do valor de referência utilizado. Observa-se que alguns valores obtidos ficaram abaixo do limite, mais notadamente nos pontos 13, 19 e 20 (cada um com duas ocorrências menores que o limite), 14 (com três ocorrências menores que o limite) e 18 (ocorrência menor que 4 mg/L).

A Figura 3.1.4 apresenta a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na água. Observa-se que a grande maioria dos valores ficou dentro do limite ou ligeiramente acima do limite em alguma coleta. Entretanto, os pontos 18 e 19 apresentaram valores sistematicamente mais altos, alcançando o triplo ou o até o quádruplo do limite em mais de uma oportunidade. Além disso, nos pontos 20 e 21 foram observadas ocorrências de valores até 20% acima do limite em três oportunidades. É interessante

observar ainda que baixos valores de OD usualmente possuem correlação com altos valores de DBO. Esta correlação pode ser observada nos pontos 18, 19 e 20.

A Figura 3.1.5 apresenta a concentração de sólidos totais dissolvidos (TDS) na água. Observam-se valores proporcionalmente elevados nos pontos 2, 3, 4 e 5.

As Figuras 3.1.6 e 3.1.7 apresentam as concentrações de coliformes totais e coliformes fecais (termotolerantes), respectivamente, na água. Deve-se notar que ambas as figuras apresentam gráficos com os eixos verticais em escala logarítmica. Este recurso facilita a visualização da ordem de grandeza de todos os resultados. Com relação aos coliformes fecais, o artigo 15 da resolução CONAMA 357/05 estabelece que não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Na Figura 3.1.7, observa-se que os pontos 8, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20 e 21 repetidamente apresentaram valores acima do limite. No ponto 8 foram encontrados valores até duas vezes maiores que o limite, em três oportunidades. Nos pontos 14, 16 e 17 foram encontrados valores até doze vezes maiores que o limite, em cinco oportunidades para os pontos 14 e 16, e em duas oportunidades para o ponto 17. No ponto 13 foram encontrados valores até cem vezes maiores que o limite em cinco oportunidades. E finalmente nos pontos 18, 19, 20 e 21 foram encontrados valores até mil vezes maiores que o limite, em todas as cinco oportunidades.

As Figuras 3.1.8 e 3.1.9 apresentam as concentrações de nitrato e de óleos e graxas na água, respectivamente. Com respeito às concentrações de nitrato, todos os valores encontrados ficaram abaixo do limite considerado. Com respeito aos óleos e graxas, observam-se alguns valores proporcionalmente aumentados. O artigo 14, inciso I, alínea c e o artigo 15 da resolução CONAMA 357/05 definem o limite de óleos e graxas como “virtualmente ausentes”. Deve-se notar que no ponto 19 foi observado o maior valor dentre todas as observações, que ocorreu na sexta campanha. Visto que este ponto é localizado no centro da cidade de Poços de Caldas, este resultado pode indicar um evento momentâneo e localizado.

As Figuras 3.1.10 a 3.1.28 apresentam as concentrações e/ou atividades, em água, de alumínio, bário, cálcio, cobre, ferro, íon fluoreto, magnésio, manganês, potássio, silício, sódio, íon sulfato, terras raras, zinco, urânio, tório, ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb , respectivamente. Tais figuras serão comentadas a seguir.

Na Figura 3.1.10, observa-se que praticamente todas as concentrações de alumínio na água encontram-se acima do limite considerado, ultrapassando em média 8 vezes este limite. O mesmo pode ser observado para as concentrações de ferro na Figura 3.1.14 e para as concentrações de manganês na Figura 3.1.17. Nestas duas figuras, observa-se que grande parte dos valores obtidos ficou acima do limite, chegando a excedê-lo em até 10 vezes, tanto para o caso do ferro quanto para o caso do manganês. Exceção para as concentrações de manganês nos pontos 3, 4 e 5, que foram mais elevadas. Porém, estes resultados serão comentados mais adiante. Sobre essas altas concentrações de alumínio, ferro e manganês em praticamente todos os pontos de amostragem, deve-se observar que todos estes pontos estão localizados dentro do Planalto de Poços de Caldas, maciço alcalino com grande abundância desses três metais. Portanto, a aplicação dos limites de concentração para alumínio, ferro e manganês contidos na resolução CONAMA 357/05 deveria ser revista para a região do Planalto de Poços de Caldas.

Na Figura 3.1.11, observa-se que todos os valores encontrados para bário estão dentro do limite considerado. As Figuras 3.1.12, 3.1.16, 3.1.18, 3.1.19, 3.1.20 e 3.1.22 apresentam respectivamente as

concentrações de cálcio, magnésio, potássio, silício, sódio e terra raras na água, porém não há um limite para comparação estabelecido na resolução CONAMA 357/05. Com relação ao cálcio, observa-se concentrações proporcionalmente mais elevadas (acima de 25 mg/L em mais de uma oportunidade) nos pontos 2, 3, 4, 5 e 7.

Na Figura 3.1.13, observa-se que a maioria dos valores obtidos para as concentrações de cobre na água ficou dentro do limite considerado. Entretanto, nota-se valores ligeiramente aumentados nos pontos 3 e 4 na primeira campanha, ocorrendo o mesmo na segunda campanha em quase todos os pontos. A INB informou que os resultados da segunda campanha ficaram superdimensionados em função do alto limite de detecção do método que foi utilizado para realizar as análises deste conjunto específico de amostras.

Nas Figuras 3.1.15 e 3.1.21, que apresentam respectivamente as concentrações de íon fluoreto e íon sulfato na água, observa-se um comportamento bastante semelhante para essas duas espécies. O gráfico mostra concentrações acima dos limites considerados para os pontos 2, 3, 4, e 5. No caso do ponto 3, a concentração de fluoreto chega a ser 5 vezes o limite e a concentração de sulfato chega a ser mais de 2 vezes o limite.

Com relação ao manganês (Figura 3.1.17), conforme já mencionado, quase todos os valores obtidos ficaram acima do limite considerado, novamente com destaque para os pontos 2, 3, 4 e 5. Por exemplo, no ponto 3 foi encontrada uma concentração 35 vezes maior que o limite, enquanto que para os demais pontos citados as concentrações ficaram ao redor de 2 a 5 vezes maiores que o limite.

Na Figura 3.1.23, que apresenta as concentrações de zinco na água, observa-se que apenas no ponto 3 foram obtidos valores maiores que o limite considerado, em duas oportunidades. Nesse ponto, as concentrações de zinco chegaram a ser aproximadamente 2 vezes o limite.

Comportamento qualitativamente semelhante pode ser visto na Figura 3.1.24, que apresenta as atividades e concentrações de urânio na água. Note-se que esta figura apresenta o gráfico com duas escalas: à direita está a escala contendo as concentrações de urânio, onde está indicado o limite de 0,02 mg/L estabelecido na resolução CONAMA 357/05; à esquerda está a escala contendo as atividades de urânio, onde está indicado, apenas para o ponto 5, o limite CNEN de liberação de efluente de 0,2 Bq/L. Entretanto, é importante detalhar que este limite CNEN refere-se especificamente ao efluente da Represa de Águas Claras e não ao ponto 5 propriamente dito, que fica localizado alguns metros a montante da saída da represa. Note-se ainda que ambas as escalas estão fracionadas para facilitar a leitura dos valores mais baixos. Com respeito aos resultados apresentados, apenas no ponto 3 foram obtidas concentrações de urânio acima do limite CONAMA considerado, sendo que algumas medidas chegaram a ultrapassar esse limite em 450 vezes. Sobre o limite CNEN considerado para o ponto 5, houve apenas um episódio em que a atividade ultrapassou ligeiramente este limite, o que não é significativo.

Sobre os pontos 3, 4 e 5 (todos localizados no interior da Bacia de Águas Claras), é importante salientar que esses pontos servem como indicativo da qualidade do efluente do sistema de tratamento de águas ácidas da INB Caldas, sendo que o ponto 3 é o primeiro ponto a jusante desse sistema. Sobre o ponto 2, já foi dito anteriormente que não há atividade industrial a montante, mas é interessante notar que este ponto também está localizado na Bacia de Águas Claras.

Voltando à análise das concentrações de fluoreto e sulfato, nota-se valores ligeiramente aumentados no ponto 9 quando comparados com os valores nos pontos adjacentes (pontos 8 e 10), porém dentro dos limites considerados. O mesmo ocorreu no caso do cálcio, que apresentou concentrações ligeiramente mais elevadas no ponto 9 quando comparadas com as concentrações nos pontos 8 e 10. Vale lembrar que o ponto 9 está localizado no Ribeirão das Antas e é o primeiro ponto a jusante do ponto 5. Já o ponto 8 está localizado no Ribeirão Tamanduá, afluente do Ribeirão das Antas, sendo que a confluência fica a montante do ponto 9. O ponto 10, por sua vez, está localizado no Córrego Moinhos, outro afluente do Ribeirão das Antas, sendo que a confluência fica a jusante do ponto 9.

A Figura 3.1.25 apresenta as atividades e concentrações de tório em água, no mesmo modelo do gráfico da Figura 3.1.24 (urânio). No caso do tório, entretanto, não há limite CONAMA estabelecido. Há apenas o limite CNEN indicado para o ponto 5. Observa-se que este limite não foi ultrapassado em nenhum momento. Entretanto, quando analisados comparativamente, foram obtidos valores proporcionalmente mais elevados, em uma ou no máximo duas oportunidades, nos pontos 2, 3, 4, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 20 e 21. De qualquer forma, estes resultados não são significativos.

As Figuras 3.1.26 a 3.1.28 apresentam respectivamente as atividades dos isótopos ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb na água, sendo que os eixos verticais dos gráficos de ^{226}Ra e ^{210}Pb estão fracionados para facilitar a visualização dos resultados. Não há limite CONAMA estabelecido para esses isótopos. Há apenas o limite CNEN que foi considerado para efeitos de comparação com o ponto 5. A análise dos gráficos não mostra resultados significativos para esses três isótopos.

Os resultados obtidos para cádmio, cromo, fósforo, molibdênio, níquel, ítrio, titânio e vanádio em água ficaram todos abaixo dos respectivos limites de detecção dos métodos de análise. Por isso esses resultados não serão apresentados.

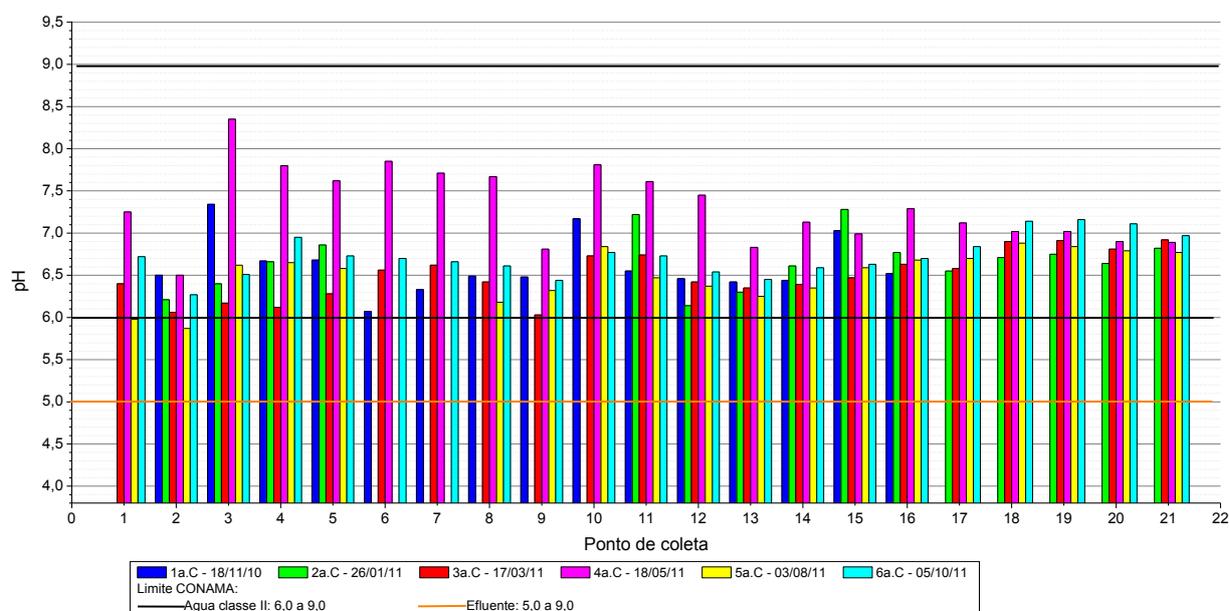


Figura 3.1.1 – pH da água.

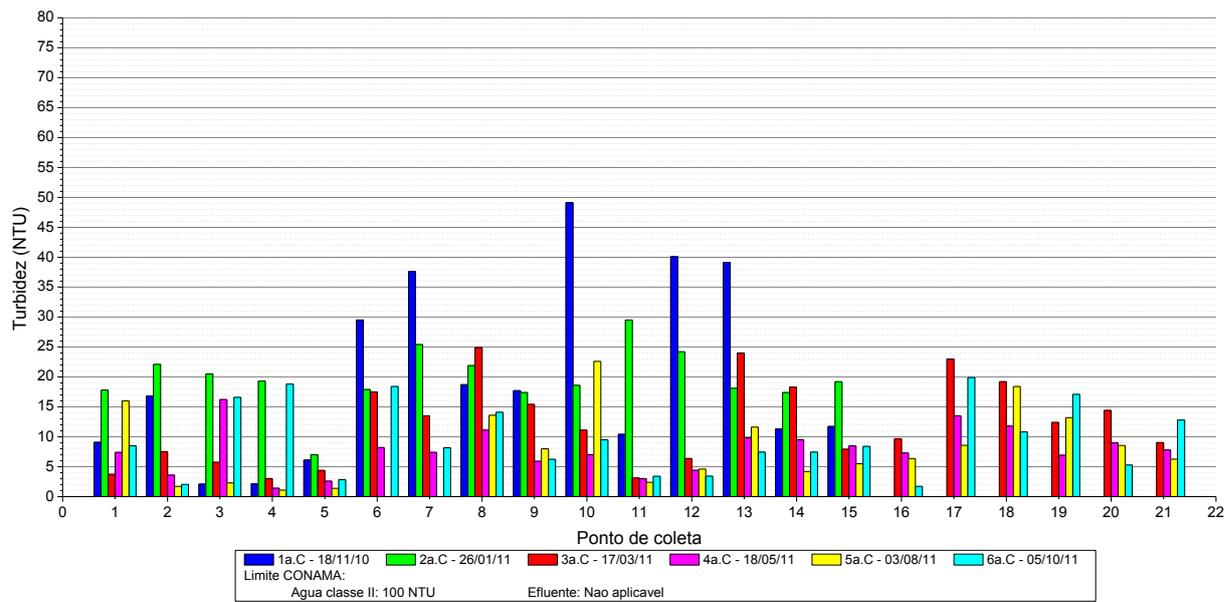


Figura 3.1.2 – Turbidez da água.

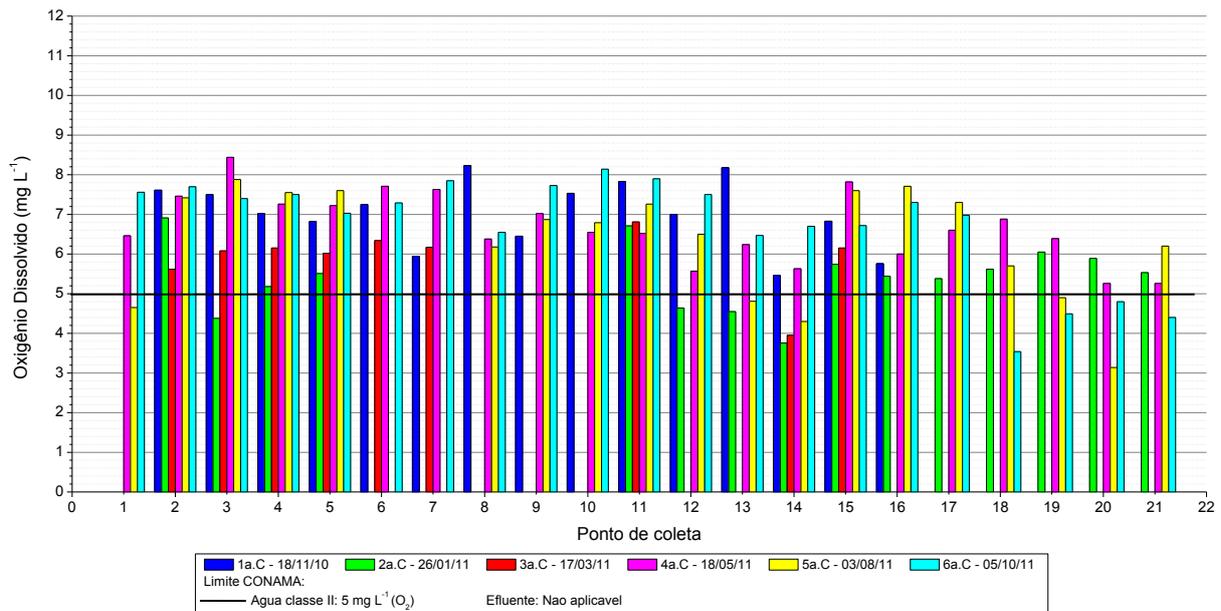


Figura 3.1.3 – Concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água.

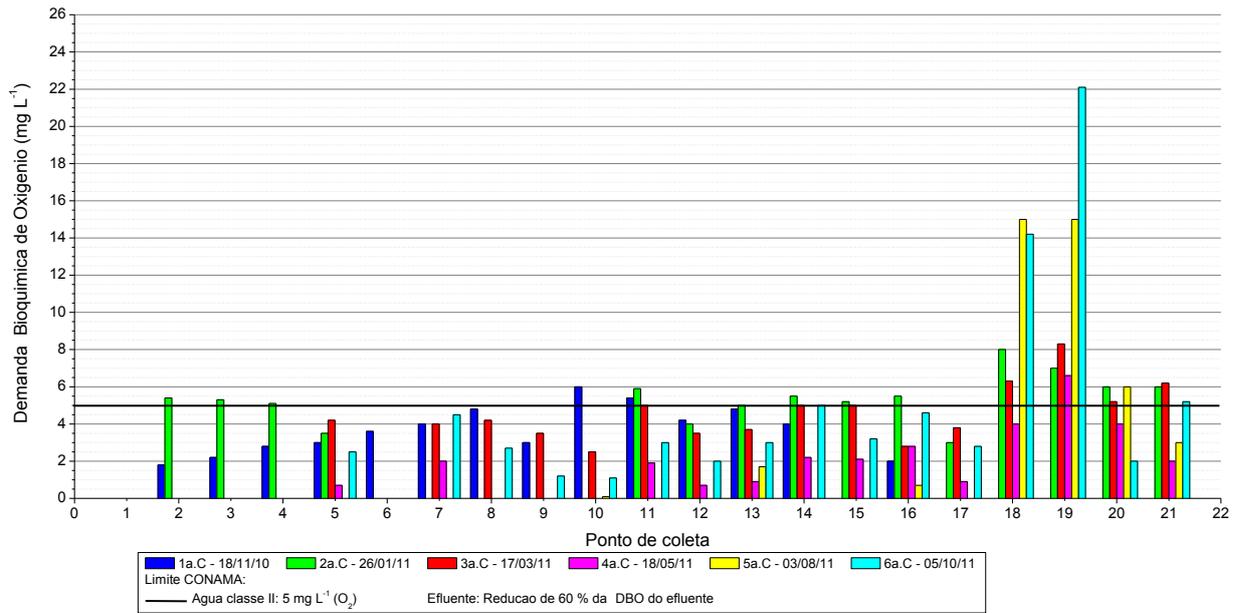


Figura 3.1.4 – Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na água.

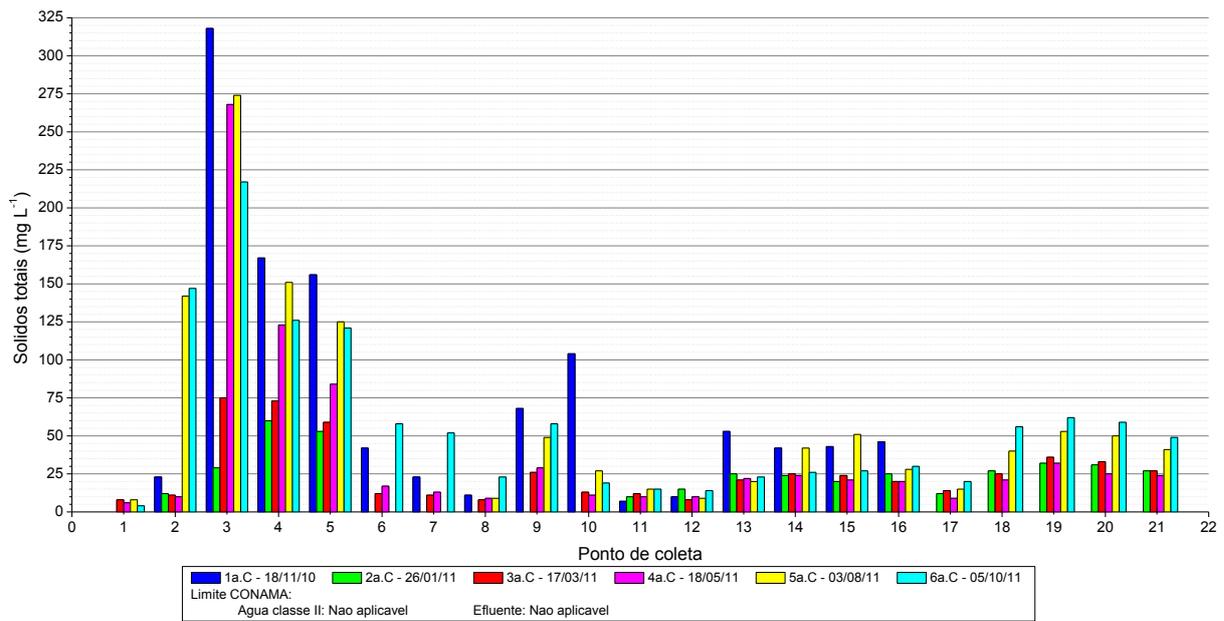


Figura 3.1.5 – Concentração de sólidos totais dissolvidos (TDS) na água.

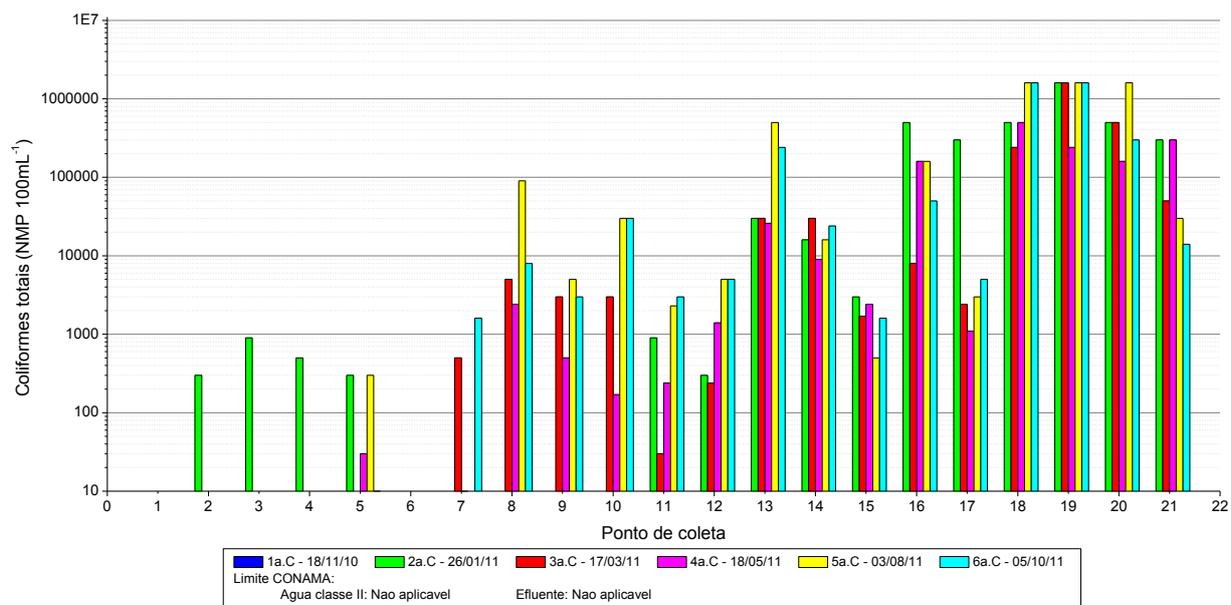


Figura 3.1.6 – Concentração de coliformes totais na água.

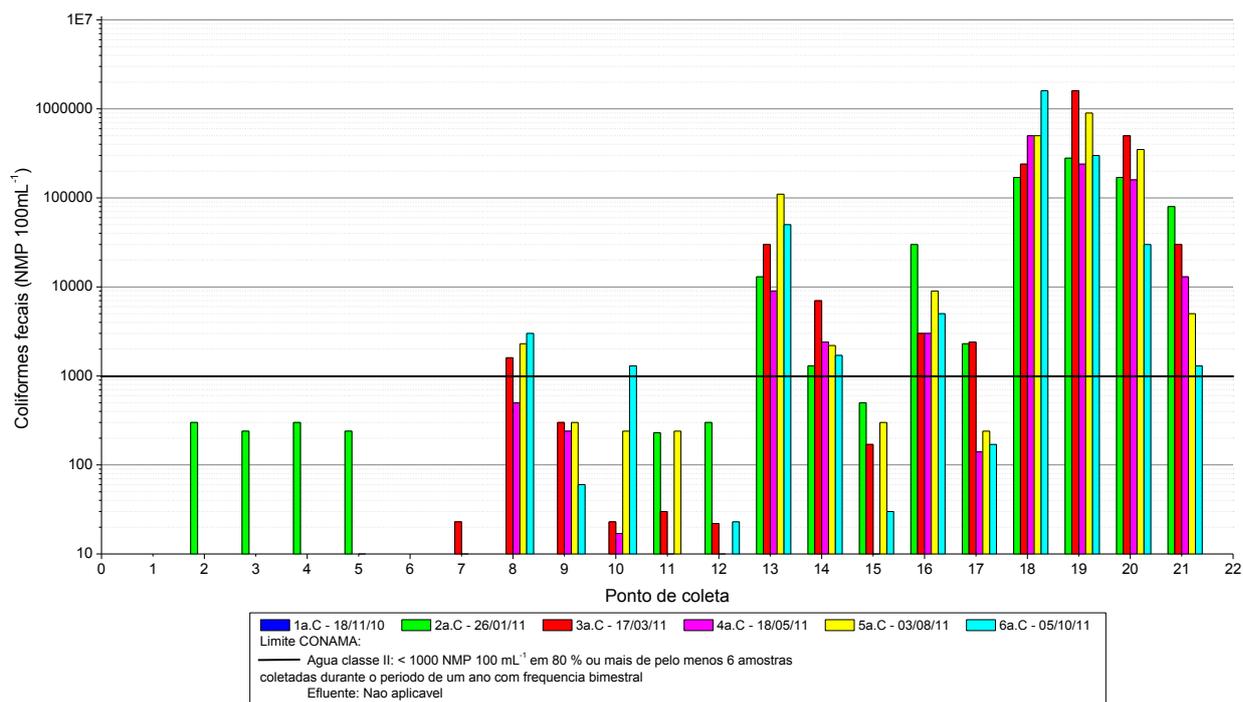


Figura 3.1.7 – Concentração de coliformes fecais (termotolerantes) na água.

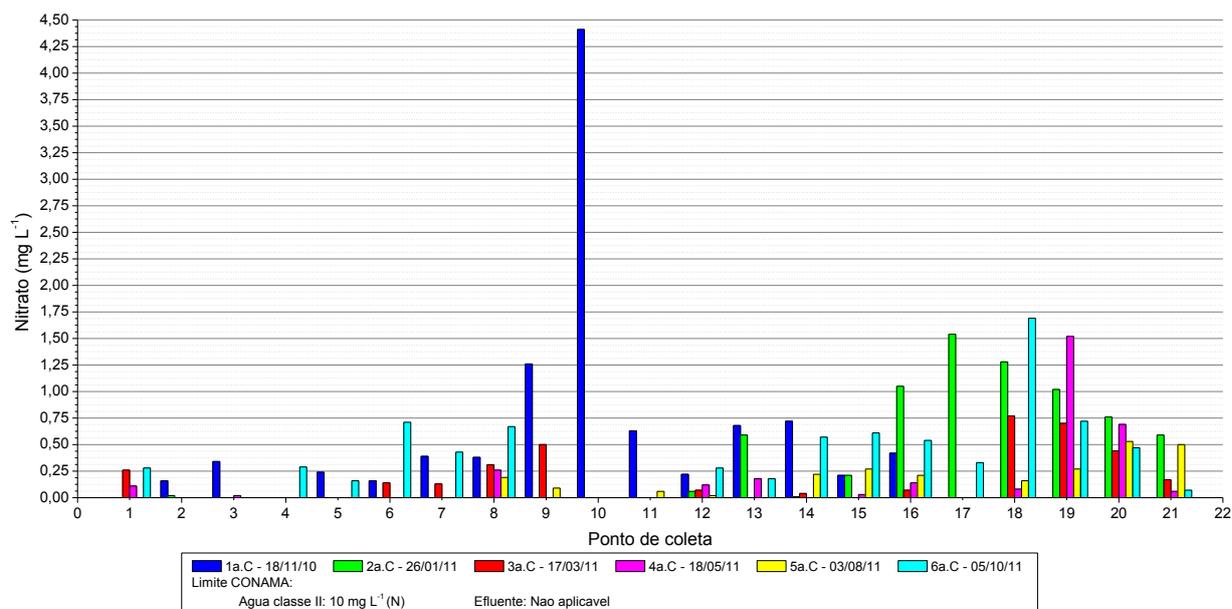


Figura 3.1.8 – Concentração de nitrato na água.

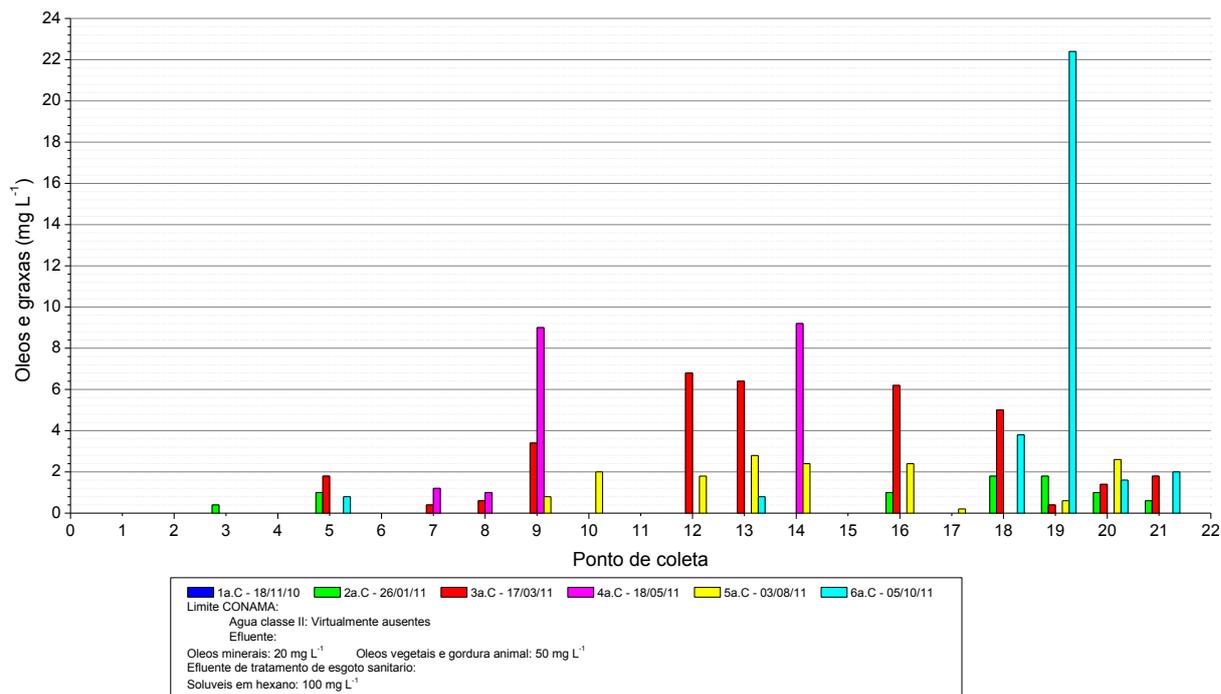


Figura 3.1.9 – Concentração de óleos e graxas na água.

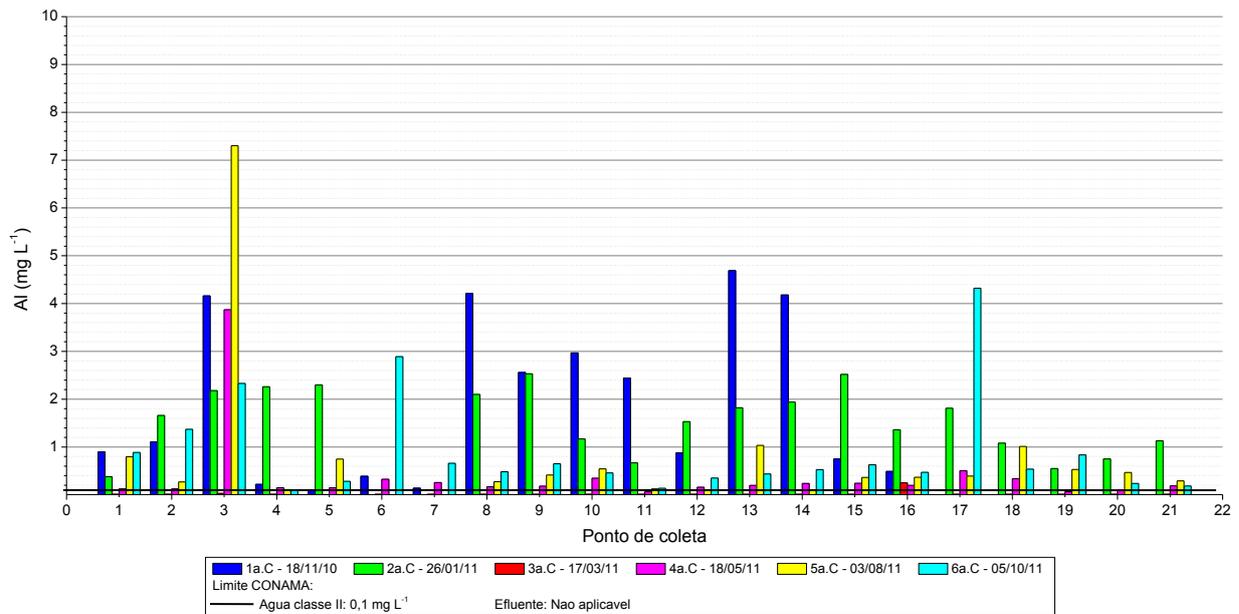


Figura 3.1.10 – Concentração de alumínio (Al) na água.

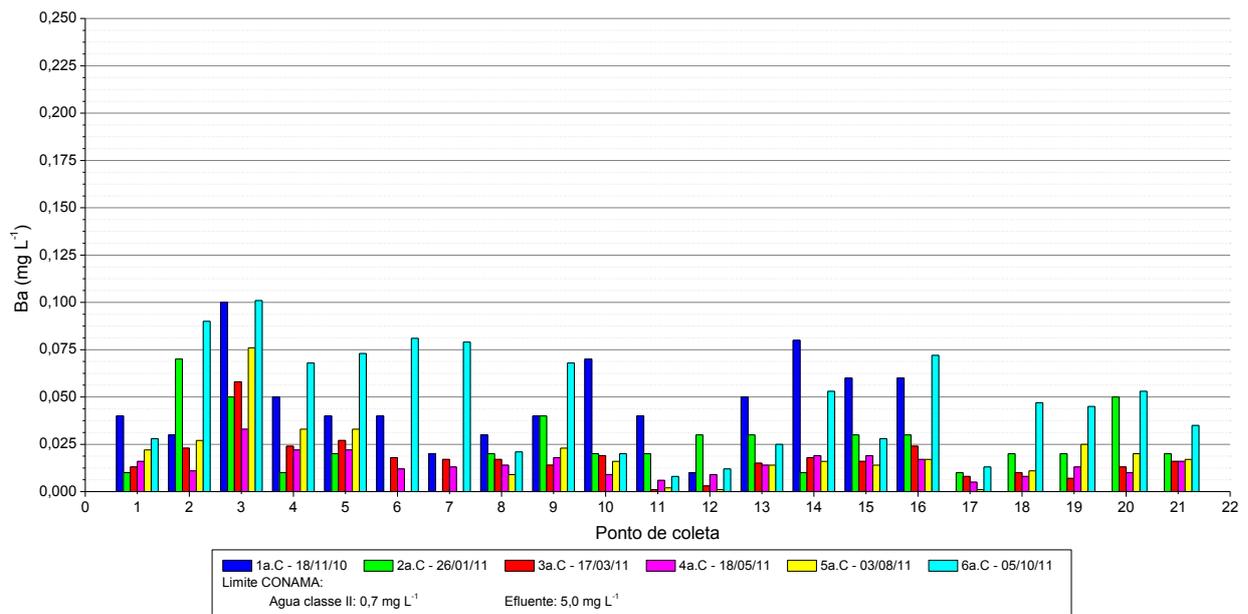


Figura 3.1.11 – Concentração de bário (Ba) na água.

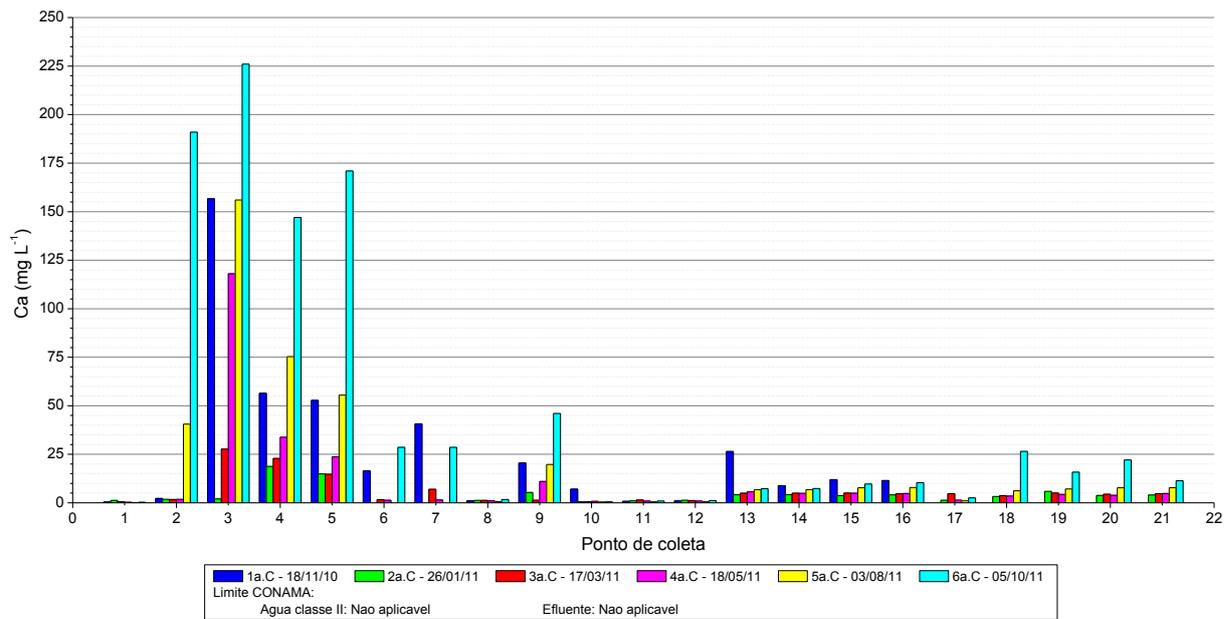


Figura 3.1.12 – Concentração de cálcio (Ca) na água.

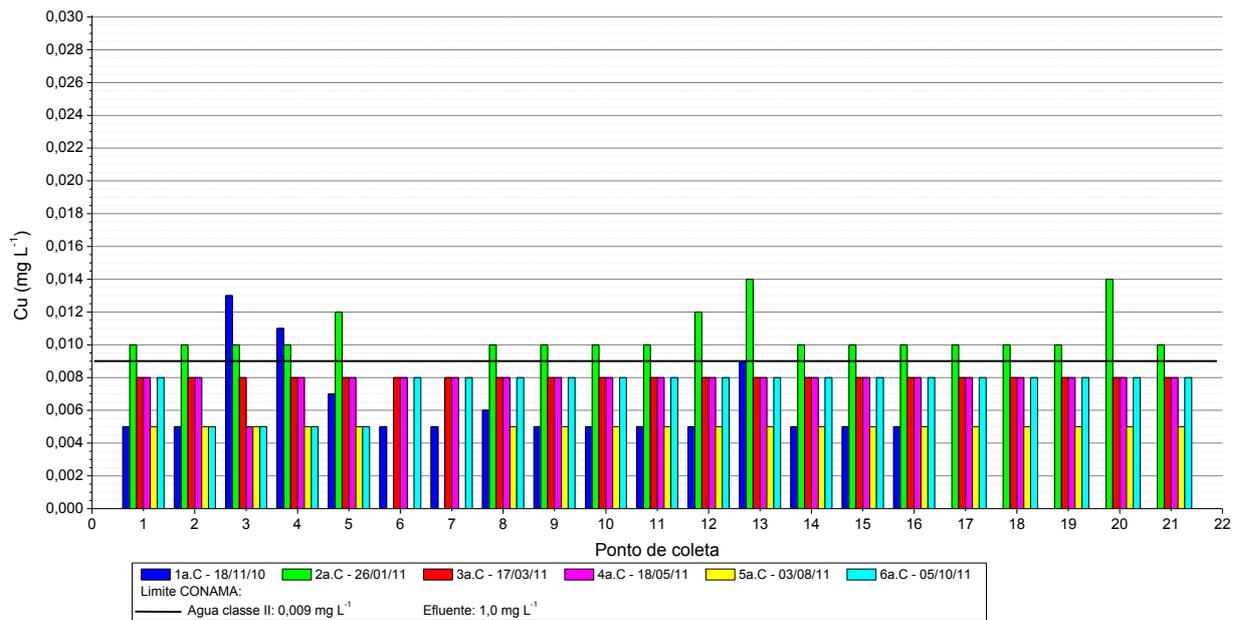


Figura 3.1.13 – Concentração de cobre (Cu) na água.

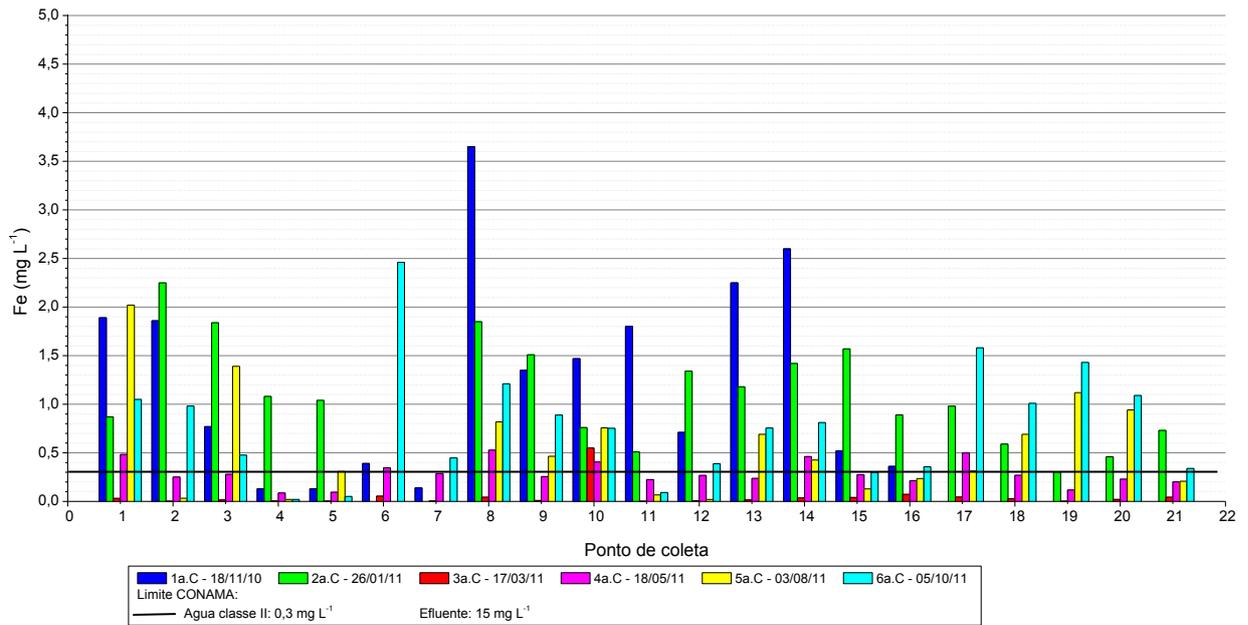


Figura 3.1.14 – Concentração de ferro (Fe) na água.

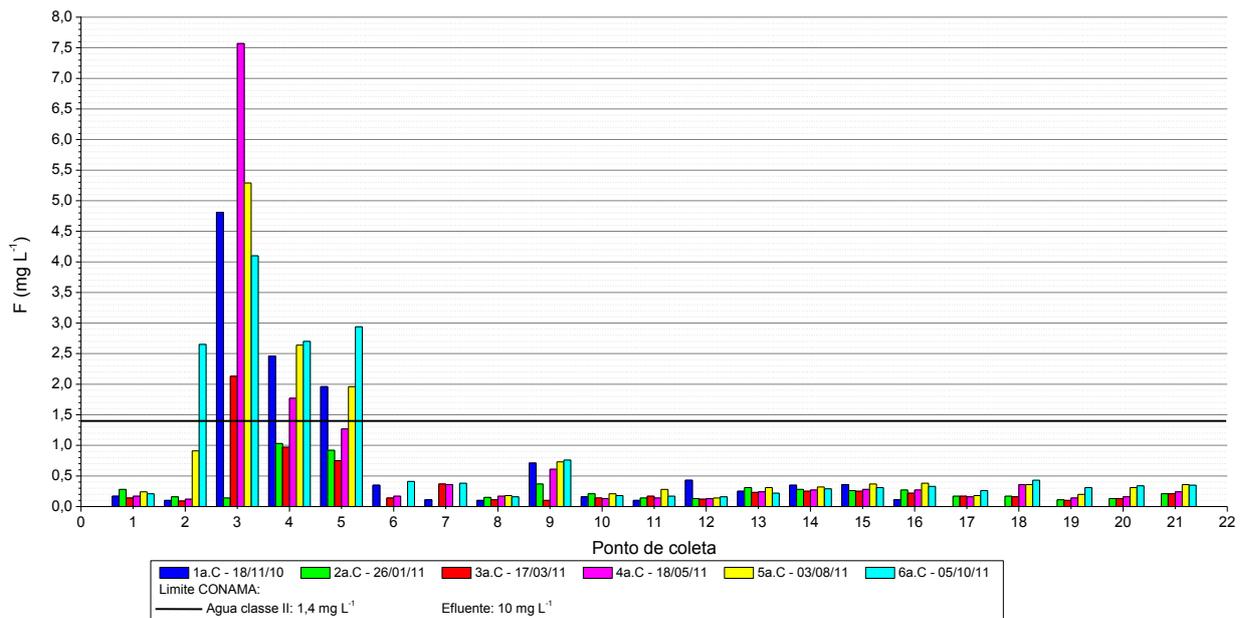


Figura 3.1.15 – Concentração de fluoreto (F⁻) na água.

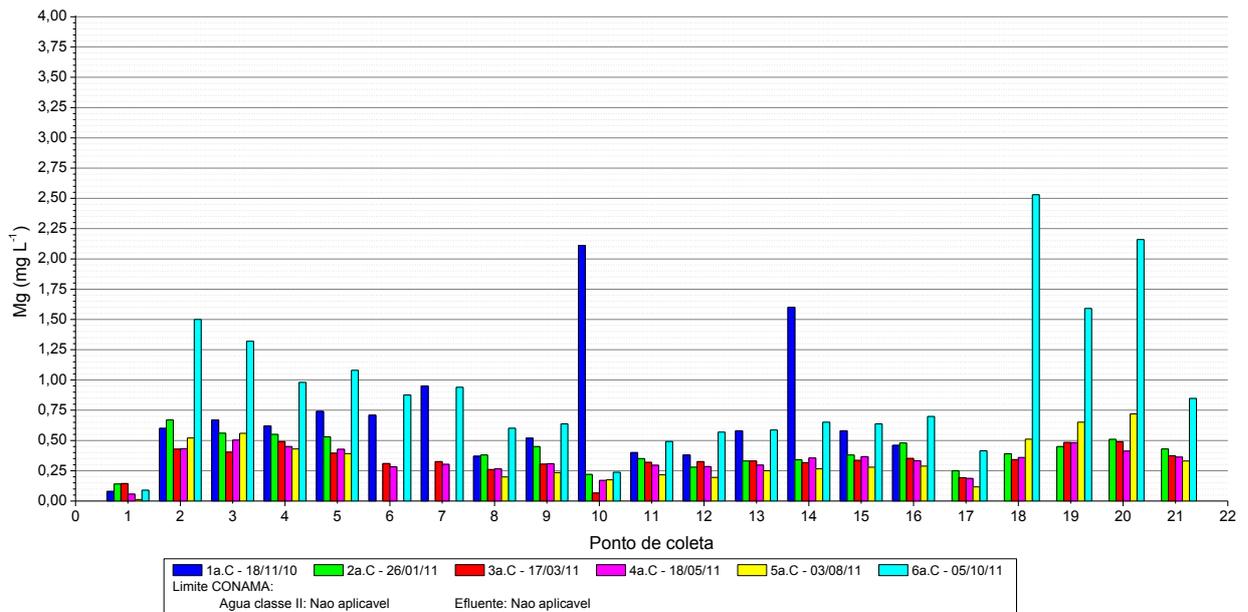


Figura 3.1.16 – Concentração de magnésio (Mg) na água.

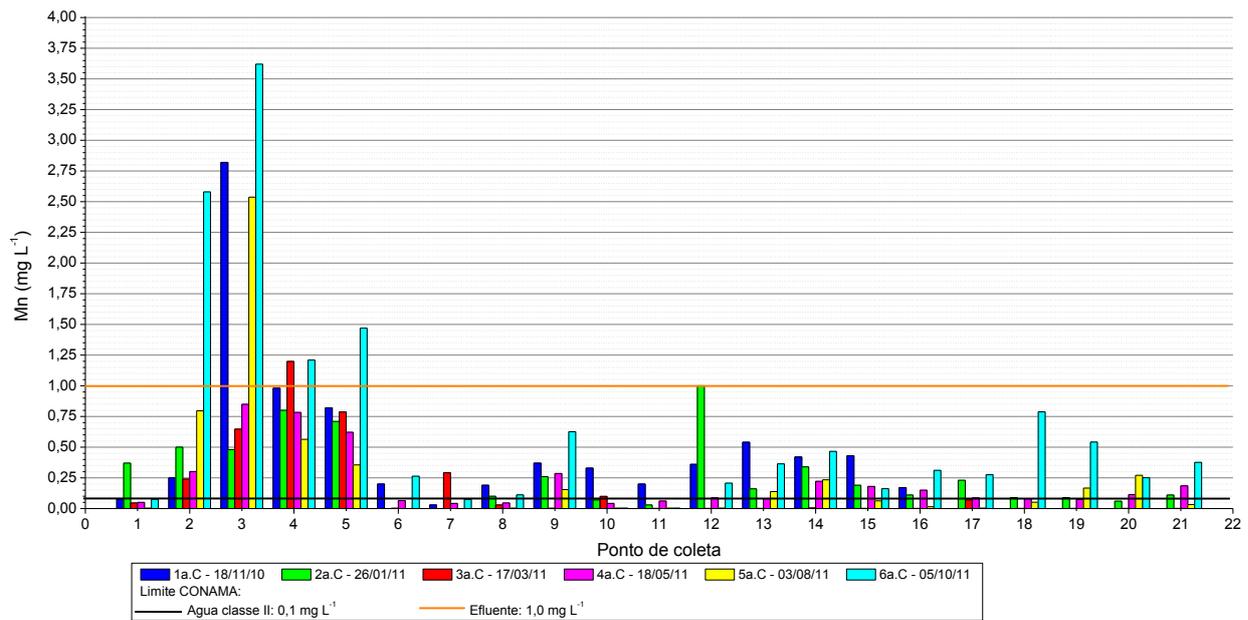


Figura 3.1.17 – Concentração de manganês (Mn) na água.

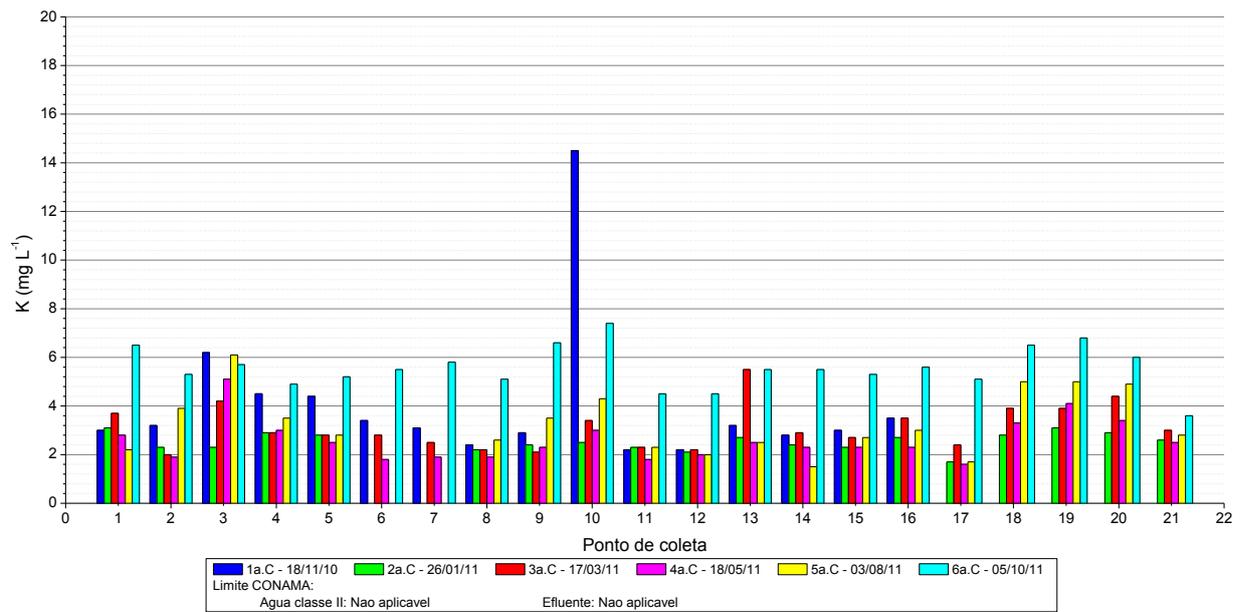


Figura 3.1.18 – Concentração de potássio (K) na água.

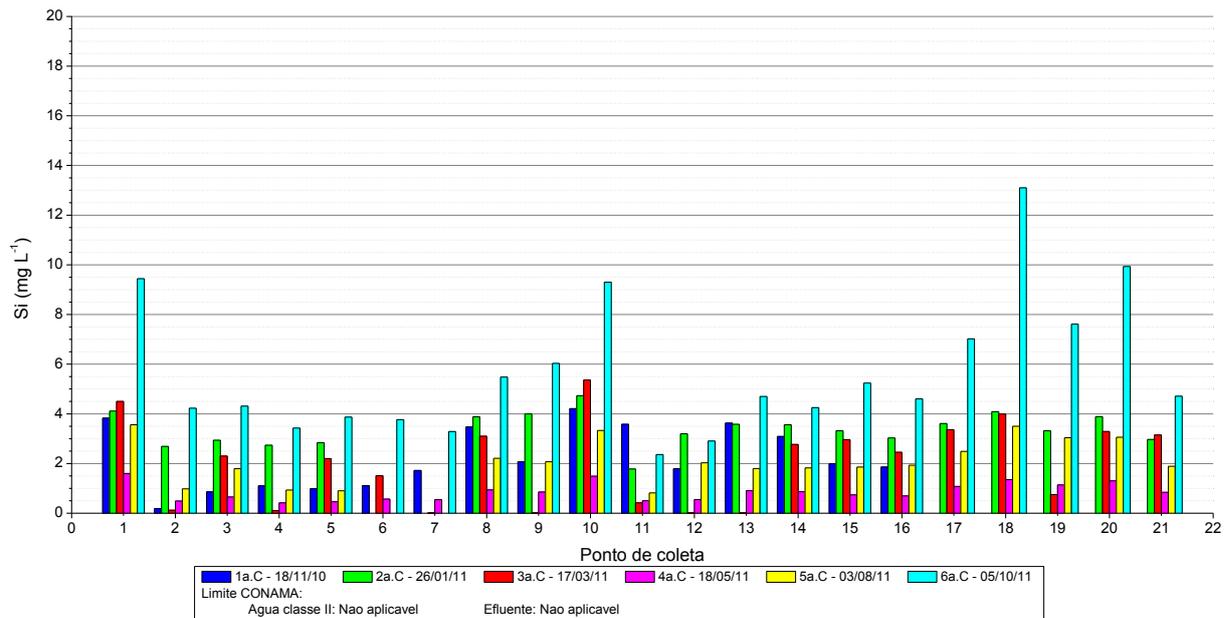


Figura 3.1.19 – Concentração de silício (Si) na água.

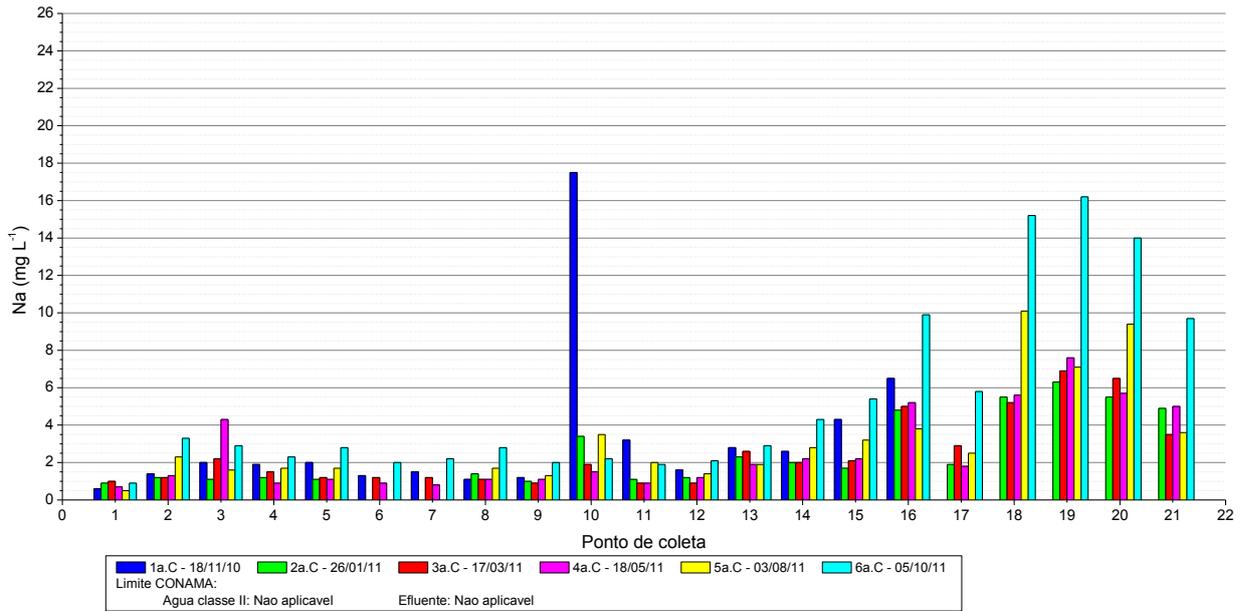


Figura 3.1.20 – Concentração de sódio (Na) na água.

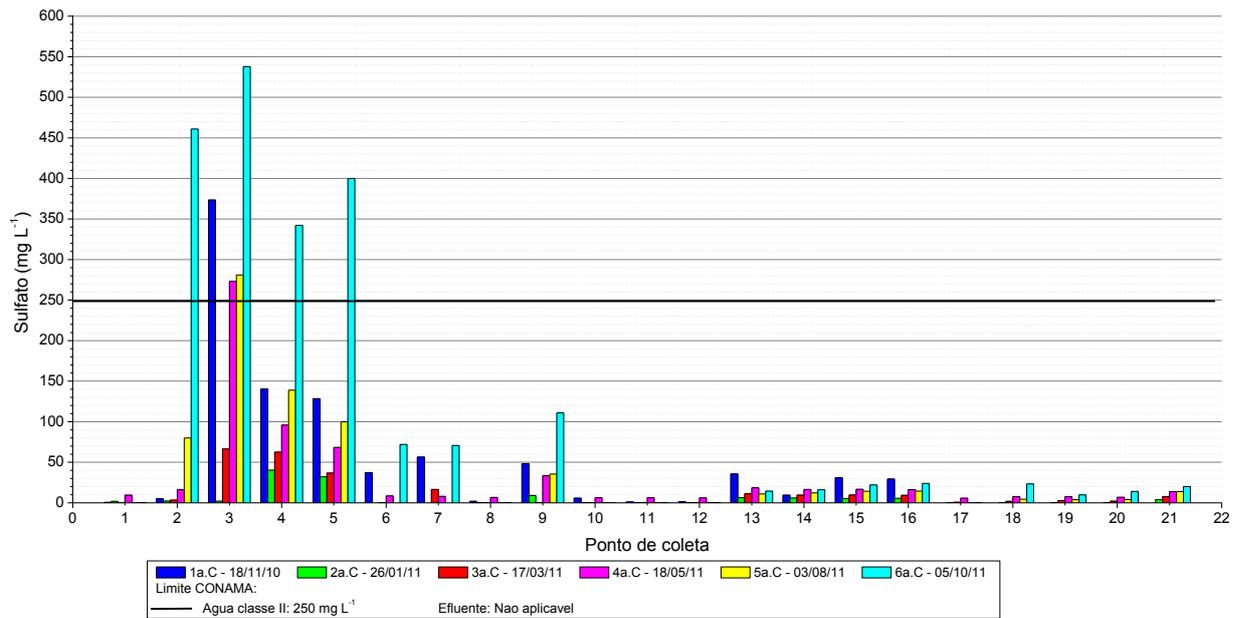


Figura 3.1.21 – Concentração de sulfato (SO_4^{2-}) na água.

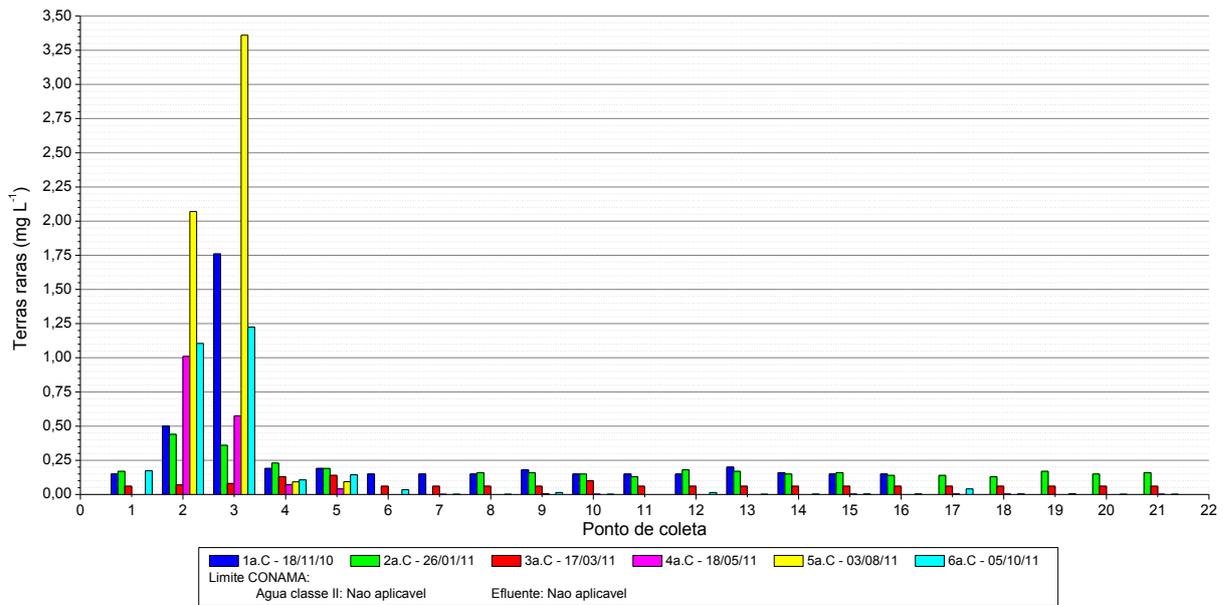


Figura 3.1.22 – Concentração de terras raras na água.

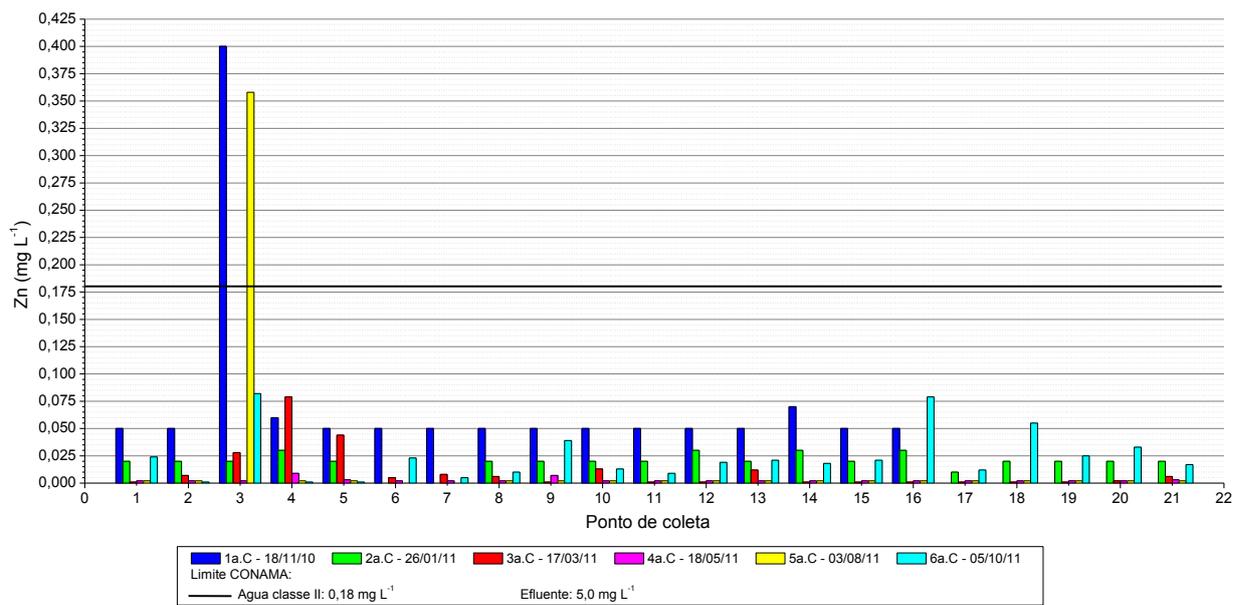


Figura 3.1.23 – Concentração de zinco (Zn) na água.

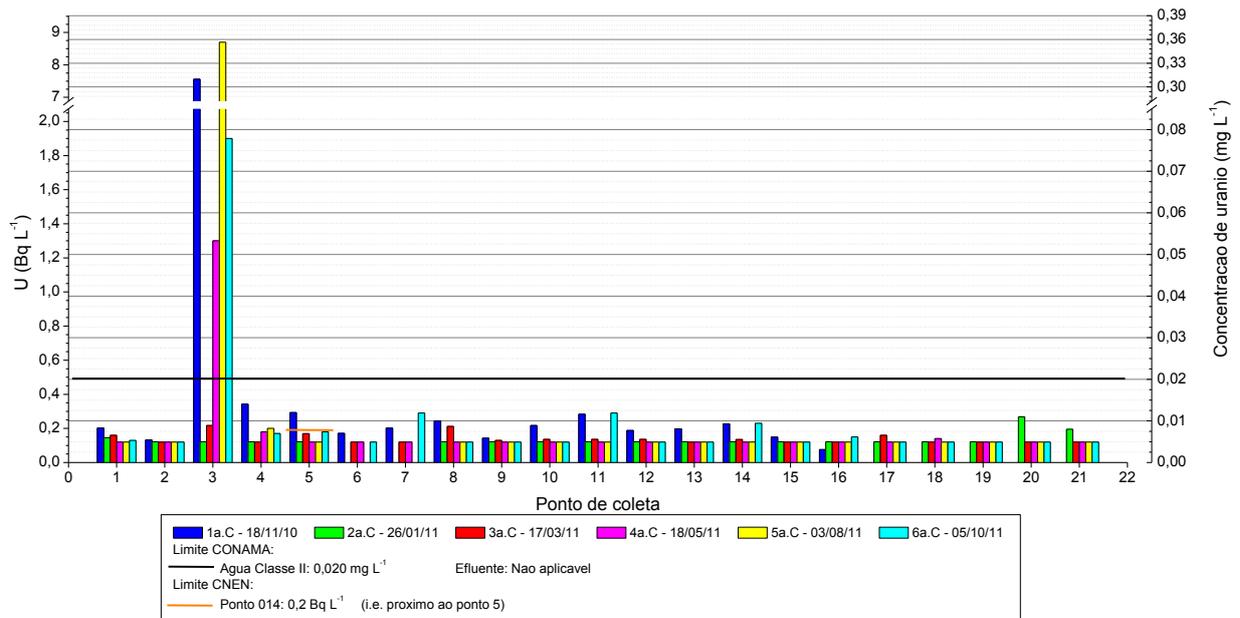


Figura 3.1.24 – Atividade e concentração de urânio (U) na água.

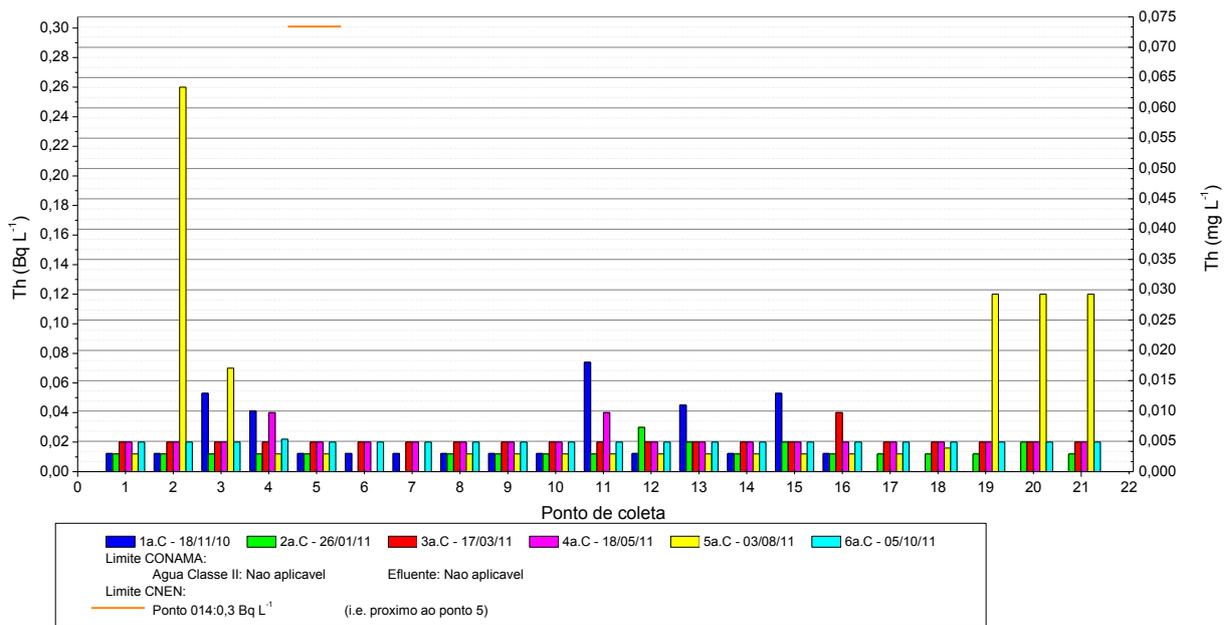


Figura 3.1.25 – Atividade e concentração de tório (Th) na água.

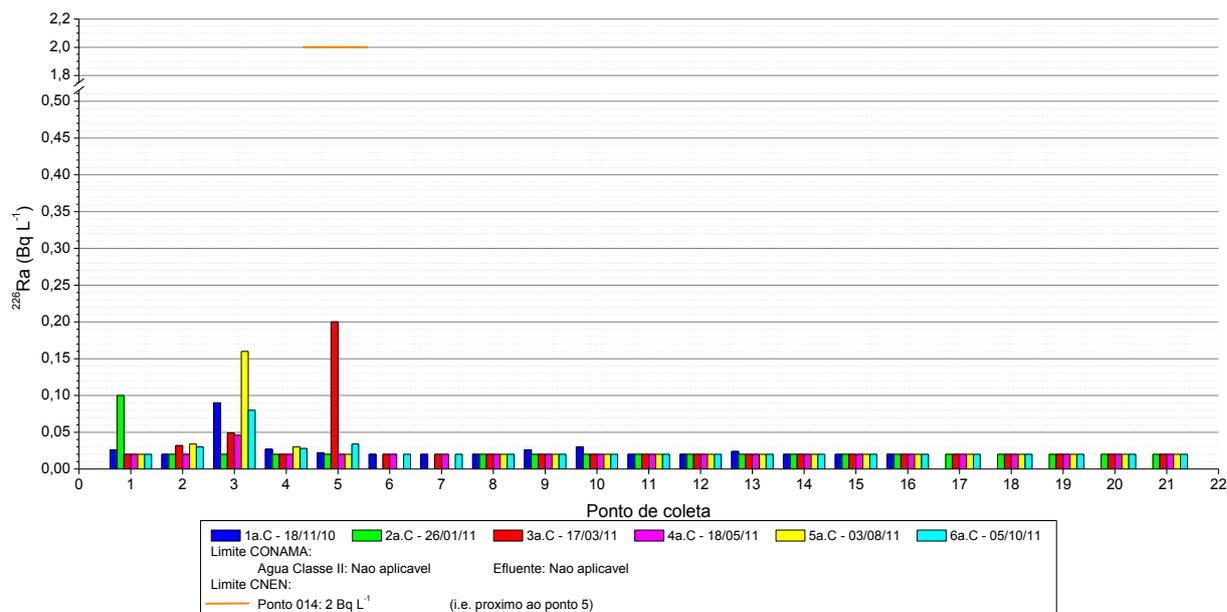


Figura 3.1.26 – Atividade de rádio-226 (²²⁶Ra) na água.

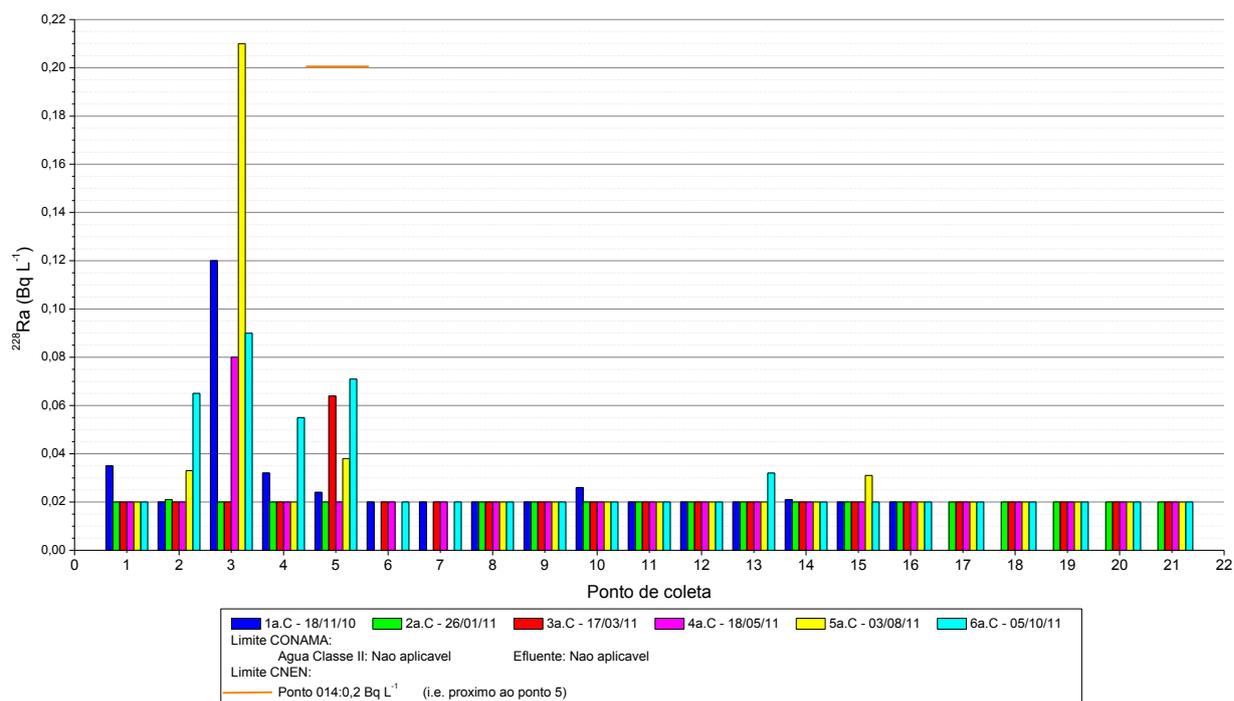


Figura 3.1.27 – Atividade de rádio-228 (²²⁸Ra) na água.

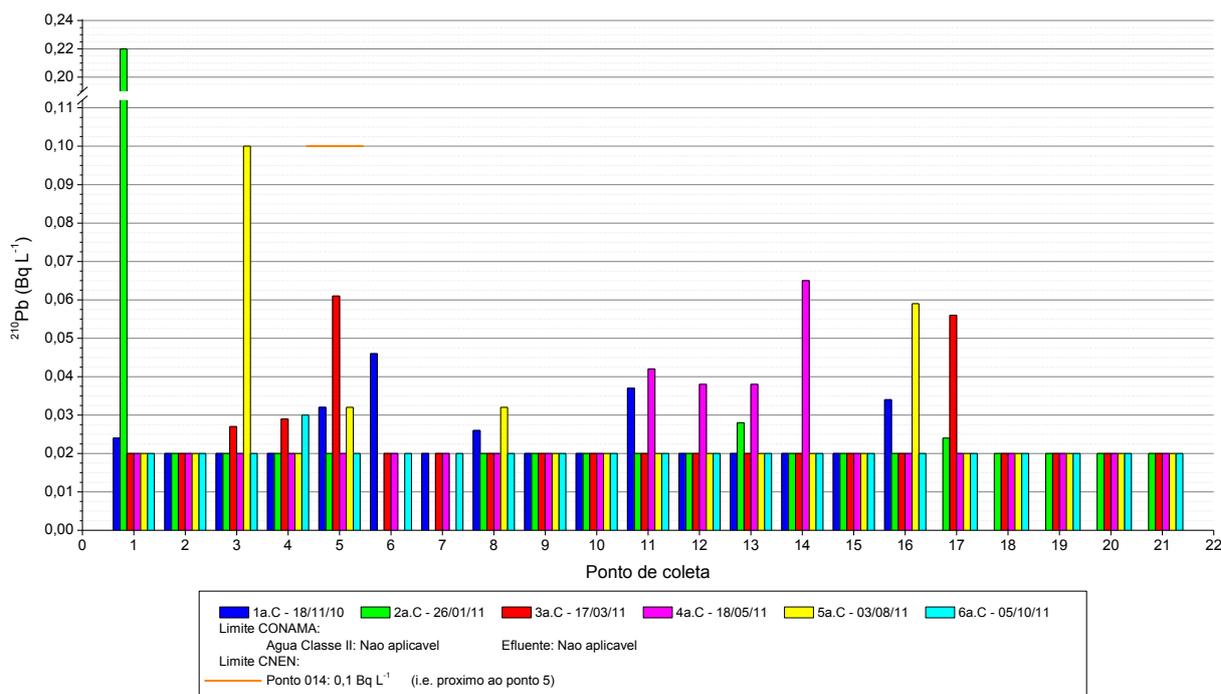


Figura 3.1.28 – Atividade de chumbo-210 (²¹⁰Pb) na água.

As Tabelas 3.1.1a, 3.1.1b e 3.1.1c apresentam as concentrações dos compostos organoclorados e organofosforados, obtidas nas amostras de água coletadas simultaneamente durante a terceira campanha de coleta no dia 18/03/2011. As análises foram realizadas pelo Laboratório Ecolabor, sob contratação do DMAE. Nas tabelas, imediatamente abaixo do nome do composto, está indicado o limite estabelecido na resolução CONAMA 357. Além disso, a indicação “n.d” significa “não detectado”. Vale salientar que especificamente para os compostos 4,4-DDD, 4,4-DDE e 4,4-DDT, o valor apresentado na resolução CONAMA 357/05 refere-se à soma dos três valores obtidos, que é limitada em 0,002 microgramas por litro.

Observa-se que no ponto 5 foram encontradas concentrações dos compostos 4,4-DDD e 4,4-DDT, somados, 63 vezes acima do limite. Cabe esclarecer que no momento em que esta situação foi verificada pela equipe da Comissão das Águas, o fato foi relatado ao órgão competente, que já apresentou esclarecimentos. Com relação aos demais compostos, não foram encontradas concentrações acima dos limites.

Tabela 3.1.1a – Concentrações de compostos organoclorados e organofosforados.

Resultados em microgramas por litro (µg L⁻¹).

PONTOS	2,4,5- T	2,4,5-TP	2,4 -D	Atrazina	Simazina	4,4-DDD	4,4-DDE	4,4-DDT
	2,00	10,00	4,00	2,00	2,00	0,002 (somado)		
5	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,037	n.d	0,09
7	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
8	n.d	n.d	0,028	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

PONTOS	2,4,5- T	2,4,5-TP	2,4 -D	Atrazina	Simazina	4,4-DDD	4,4-DDE	4,4-DDT
	2,00	10,00	4,00	2,00	2,00	0,002 (somado)		
9	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
10	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
11	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
12	n.d	n.d	0,028	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
13	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
14	n.d	n.d	0,028	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
15	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
16	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
17	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
18	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
19	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
20	n.d	n.d	0,017	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
21	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

Tabela 3.1.1b – Concentrações de compostos organoclorados e organofosforados.
Resultados em microgramas por litro ($\mu\text{g L}^{-1}$).

PONTOS	Alacoloro	Aldrin+Dieldrin	Clordano	Dodecacloro pentaciclodecano	Endossulfan I	Endossulfan II	Endossulfan Sulfato	Endrin	Gama-BHC (Lindano)
	20,00	0,005	0,04	0,001	0,056 (somado)		0,004	0,02	
5	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,012
7	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,016
8	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,002	n.d	n.d
9	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
10	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,001	n.d	n.d
11	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
12	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,006	n.d	n.d
13	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
14	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,004	n.d	n.d
15	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,002	n.d	n.d
16	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,004	n.d	n.d
17	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,002	n.d	n.d
18	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
19	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
20	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
21	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,06

Tabela 3.1.1c – Concentrações de compostos organoclorados e organofosforados.
Resultados em microgramas por litro ($\mu\text{g L}^{-1}$).

PONTOS	Heptacloro e Heptacloro. Epóxido	Hexaclorobenzeno	Metoxicloro	Toxafeno	Trifluralina	Demeton	Gution	Malation	Carbaril	Paration
	0,01	0,0065	0,03	0,01	0,2	0,1	0,005	0,1	0,02	0,04
5	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
7	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
8	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
9	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
10	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
11	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
12	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
13	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
14	0,01	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
15	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
16	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
17	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
18	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
19	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
20	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
21	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

A Tabela 3.1.2 apresenta as densidades de cianobactérias, obtidas nas amostras de água coletadas simultaneamente durante a terceira campanha de coleta no dia 18/03/2011. As análises foram realizadas pelo Laboratório Ecolabor, sob contratação do DMAE. Observa-se que todos os valores ficaram dentro do limite estabelecido na resolução CONAMA 357/05, que é de 20 mil células por mililitro (para água doce classe I) ou 50 mil células por mililitro (para água doce classe II).

Tabela 3.1.2 – Densidades de cianobactérias.

PONTOS	Densidade de cianobactérias por mililitro (Limite de 20 mil células por mililitro, Classe I)
5	0
7	0
8	0
9	0
10	232
11	539
12	106
13	144
14	0
15	1185
16	367
17	0
18	0
19	0
20	500
21	498

3.2. Resultados obtidos nas amostras de sedimento

Note-se que não há, na legislação federal, limites de concentrações estabelecidos para sedimentos. Há, entretanto, um ofício da Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAM Sul de Minas), recebido pela Comissão das Águas em 25 de fevereiro de 2012, orientando que a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010, aplicável a princípio a concentrações de elementos no solo e em águas subterrâneas, poderia ser aplicada para sedimentos. Contudo, esta deliberação (e resoluções associadas) estabelece que a abertura química das amostras seja feita segundo método EPA 3050B ou EPA 3051A (EPA – US Environmental Protection Agency, agência de proteção ambiental americana), de modo que não necessariamente haja abertura total da amostra. No presente trabalho, foi utilizada uma metodologia de abertura de amostras diferente. A totalidade do elemento de interesse contido na amostra foi extraída através de uma digestão completa da mesma. Portanto, os resultados obtidos não podem ser comparados com os valores estabelecidos na citada deliberação.

As Figuras 3.2.1 a 3.2.25 apresentam as concentrações e/ou atividades, nas amostras de sedimento, de alumínio, bário, cálcio, cobre, cromo, enxofre, ferro, íon fluoreto, fósforo, magnésio, manganês, molibdênio, níquel, potássio, silício, sódio, terras raras, titânio, vanádio, zinco, urânio, tório, ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb , respectivamente. Tais figuras serão comentadas a seguir. Deve-se observar que em determinadas campanhas e em certos pontos, não foi possível obter massa suficiente de amostra de sedimento que permitisse a análise completa de todas as espécies citadas.

Analisando as Figuras 3.2.1 a 3.2.25, conclui-se que alguns elementos apresentaram pequenas variações de concentração tanto entre os pontos numa mesma coleta quanto para o mesmo ponto em várias coletas. Este foi o caso para alumínio (Figura 3.2.1), potássio (Figura 3.2.14), silício (Figura 3.2.15) e sódio (Figura 3.2.16). Estes resultados eram esperados, visto que estes elementos fazem parte da estrutura das rochas da região. Situação semelhante ocorre para o bário (Figura 3.2.2), em que houve apenas ocorrências um pouco mais elevadas no ponto 3 (na primeira coleta) e no ponto 16 (primeira e segunda coletas).

Na Figura 3.2.3, que apresenta as concentrações de cálcio, observa-se valores mais elevados nos pontos 3, 10, 18, 19 e 20, porém de modo mais significativo no ponto 3. Neste ponto, especificamente, sabe-se que há o acúmulo de material proveniente do sistema de tratamento de águas ácidas da INB Caldas, que utiliza hidróxido de cálcio (cal hidratada) para elevar o pH e precipitar os elementos contaminantes. É importante observar também que os valores mais elevados de cálcio encontrados nos pontos 10, 18, 19 e 20 não se relacionam com os valores do ponto 3, não só porque o ponto 4 (primeiro ponto a jusante do ponto 3) apresenta concentrações baixas, mas também porque estes pontos 10, 18, 19 e 20 estão localizados em afluentes do Ribeirão das Antas.

Torna-se interessante observar agora o comportamento de alguns elementos selecionados: enxofre (Figura 3.2.6), íon fluoreto (Figura 3.2.8), manganês (Figura 3.2.11), terras raras (Figura 3.2.17), zinco (Figura 3.2.20) e urânio (Figura 3.2.21). Note-se a quebra de escala nos gráficos de zinco e urânio. Foram encontradas concentrações comparativamente mais elevadas desses elementos, de maneira consistente, nos pontos 3, 4 e 5. No caso do enxofre, manganês, terras raras e urânio, também foram encontradas concentrações mais elevadas em outros pontos, o que será comentado a seguir. Entretanto, no caso do íon fluoreto e zinco, as concentrações foram comparativamente mais elevadas apenas nos pontos 3, 4 e 5 já citados.

Novamente levando-se em conta que há o sistema de tratamento de águas ácidas da INB Caldas a montante dos pontos 3, 4 e 5, e estando esses pontos localizados dentro da Bacia de Águas Claras, que na verdade é uma represa que recebe o efluente tratado desse sistema, pode-se entender o porquê dos elementos citados apresentarem concentrações comparativamente elevadas nesses pontos. A matriz da rocha que gera os efluentes ácidos no interior da INB Caldas é rica, entre outros elementos, em enxofre, flúor, manganês, alumínio e urânio. No processo de tratamento dos efluentes ácidos, é adicionada cal hidratada para elevar o pH, de tal maneira que os contaminantes sejam precipitados e agregados no resíduo desse tratamento. Este resíduo é, portanto, rico em sulfato de cálcio (gesso) e nos contaminantes, precipitados na forma de hidróxidos. Sabe-se que há grande acúmulo desse resíduo em duas bacias de decantação que ficam a montante do ponto 3. Estas bacias fazem parte do sistema de tratamento de águas da INB e tem a função de conter o material sedimentável que não foi precipitado no tanque de espessamento. Ocorre que ao longo dos mais de vinte anos de operação desse sistema, houve a passagem (translocação) desse resíduo das bacias de decantação para a Bacia de Águas Claras, carregando progressivamente seu sedimento com os elementos citados. Por este motivo observam-se concentrações decrescentes quando se compara o ponto 3 com os pontos 4 e 5. Esta situação pode ser vista nitidamente nos gráficos do íon fluoreto, manganês e urânio, por exemplo.

A INB alega que este fenômeno de translocação do resíduo decantado nas bacias de decantação tenha cessado (ou que pelo menos tenha sido reduzido drasticamente) a partir da entrada em operação do Desvio do Córrego do Cercado. Este desvio reduz a quantidade de água natural (não contaminada com efluentes ácidos) que passa pelas duas bacias de decantação, reduzindo a possibilidade de arraste deste material para a Bacia de Águas Claras.

Voltando à análise das concentrações de urânio, a Figura 3.2.21 mostra ainda que os pontos 1, 2, 9, 13, 14 e 15 também apresentaram valores comparativamente mais elevados, porém numa proporção relativamente menor do que a proporção encontrada nos pontos 3, 4 e 5. Vale lembrar que os pontos 1 e 2 estão localizados dentro da área do empreendimento da INB Caldas. Porém, conforme já dito na descrição dos pontos na seção 2.1 do presente relatório, ambos os pontos são considerados pontos de referência para radiação natural. Os pontos 9, 13, 14 e 15, por outro lado, estão localizados no Ribeirão das Antas, que se origina justamente na Bacia de Águas Claras. Três hipóteses podem ser levantadas para explicar as concentrações mais elevadas nesses quatro pontos.

Uma hipótese é que as concentrações mais elevadas nos pontos 9, 13, 14 e 15 sejam fruto de uma característica própria do Ribeirão das Antas, que drena águas originadas no interior do Campo do Cercado, maciço uranífero onde foi instalado o empreendimento da INB Caldas. Conforme esperado, nos pontos 6, 7, 8, 10, 11, 12, 17, 18, 19 e 20 observaram-se concentrações menores, pois estes pontos têm origem em locais com características diferentes do Campo do Cercado e não estão no mesmo curso de água.

A segunda hipótese é que esteja havendo um efeito, ainda que pequeno, das altas concentrações observadas nos pontos 3, 4 e 5, rio abaixo. Esta hipótese se justifica quando se compara as concentrações de urânio no ponto 9 (próximo ponto a jusante do ponto 5) com as concentrações nos pontos 8 e 10 (pontos geograficamente mais próximos do ponto 9).

A terceira hipótese é que estas concentrações observadas no ponto 9 sejam fruto do impacto esperado pela liberação controlada de efluente contendo urânio nas formas solúvel e particulada. Entende-se por liberação controlada o lançamento de efluentes contendo radionuclídeos dentro de

limites de concentração autorizados pela CNEN. Sendo assim, em função da liberação controlada, espera-se encontrar radionuclídeos no sedimento ao longo do curso do rio, no caso o Ribeirão das Antas.

Voltando à análise dos gráficos, na Figura 3.2.17 é interessante observar que a concentração mais elevada de terras raras também se deu no ponto 2, de maneira sistemática. Vale lembrar que para efeitos do presente trabalho, o ponto 2 representa um ponto de referência para elementos químicos estáveis e radioativos. Isto posto, esta alta concentração de terras raras no ponto 2 precisaria ser melhor investigada.

No caso do enxofre (Figura 3.2.6), além dos pontos 3, 4 e 5, também foram encontradas concentrações comparativamente mais elevadas nos pontos 18, 19, 20 e 21. Entretanto, essas concentrações mais elevadas foram obtidas apenas na terceira campanha, o que pode indicar algum evento isolado.

No caso do manganês (Figura 3.2.11), além dos pontos 3 e 4, também foram obtidas concentrações mais elevadas, na primeira e segunda campanhas, no ponto 16. Acrescenta-se ao caso do manganês no ponto 16, outros metais que também apresentaram concentrações comparativamente mais elevadas neste ponto. Esta foi a situação encontrada para cobre (Figura 3.2.4), cromo (Figura 3.2.5), ferro (Figura 3.2.7), níquel (Figura 3.2.13), titânio (Figura 3.2.18) e vanádio (Figura 3.2.19). Todos esses metais apresentaram sistematicamente concentrações comparativamente mais elevadas no ponto 16. Vale lembrar que o ponto 16 fica localizado a jusante da Represa do Bortolan. Naturalmente, compara-se as concentrações do ponto 16 com as do ponto 15, visto que o ponto 15 é o ponto imediatamente a montante do ponto 16, porém já no interior da represa. Entretanto, considerando-se os elementos citados, apenas o níquel apresentou concentrações mais elevadas no ponto 15, além do ponto 16. Desta forma, será preciso investigar mais detalhadamente a fonte destas concentrações elevadas encontradas no ponto 16, visto que pelos resultados obtidos esses metais não estariam sendo carreados a partir do ponto 15. É possível que haja, ou que tenha havido, alguma fonte de lançamento desses metais a jusante do ponto 15 e a montante do ponto 16.

Além dos elementos radioativos (exceto urânio, já comentado), restou comentar os resultados obtidos para fósforo (Figura 3.2.9), magnésio (Figura 3.2.10) e molibdênio (Figura 3.2.12). Foram encontradas concentrações comparativamente mais elevadas de fósforo e magnésio em diversos pontos. No caso do fósforo, nos pontos 14, 15, 16, 19 e 20, porém mais significativamente no ponto 19 na quinta campanha. No caso do magnésio, nos pontos 18, 19 e 20. No caso do molibdênio, dentre as concentrações obtidas, não foi encontrada nenhuma comparativamente mais elevada de maneira sistemática. Deve-se comentar, entretanto, as altas concentrações obtidas isoladamente na terceira campanha, provocando inclusive a quebra de escala do gráfico. Em função destes resultados, a INB reanalisou o molibdênio nas amostras da terceira campanha utilizando o método de fluorescência de raios-x por dispersão em energia (EDXRF). Os novos resultados não confirmaram os anteriores, ou seja, não foi confirmada a presença de molibdênio nas amostras da terceira campanha em concentrações maiores que as obtidas nas demais campanhas.

As Figuras 3.2.22 a 3.2.25 apresentam as concentrações e/ou atividades de tório, ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb , respectivamente, no sedimento. Não foi possível observar pontos nos quais os resultados tenham sido sistematicamente mais elevados em relação aos demais. São dignos de nota apenas os resultados

obtidos nos pontos 3 e 4 para ^{226}Ra e ^{228}Ra , que são ligeiramente mais elevados. De qualquer forma, estes pontos já foram comentados em função das concentrações de outros elementos.

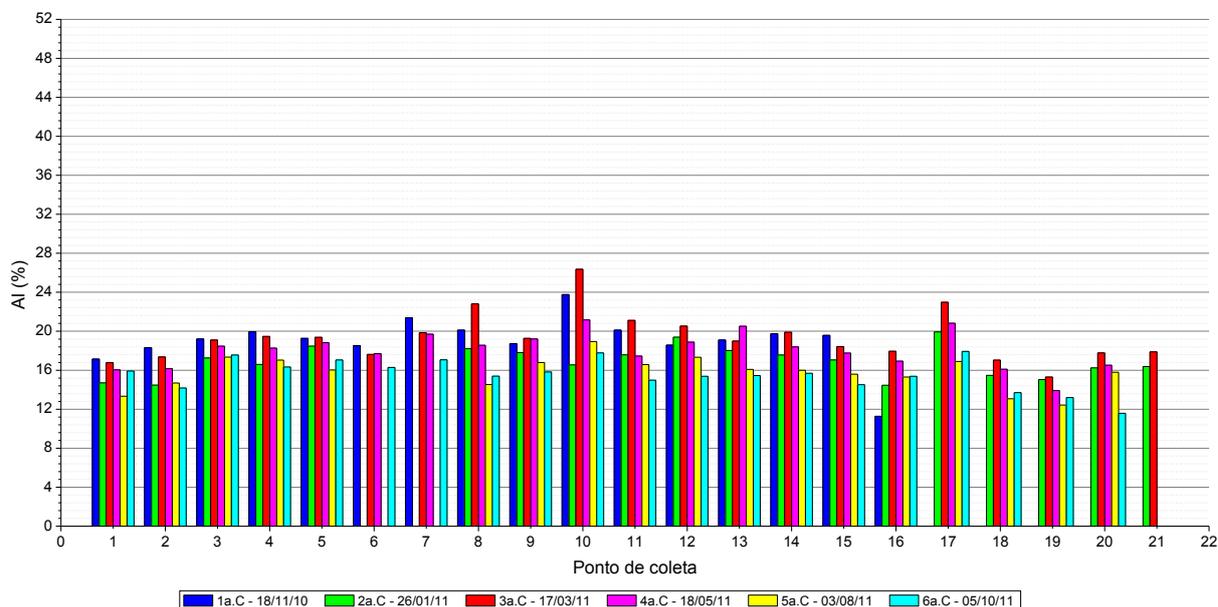


Figura 3.2.1 – Concentração de alumínio (Al) no sedimento.

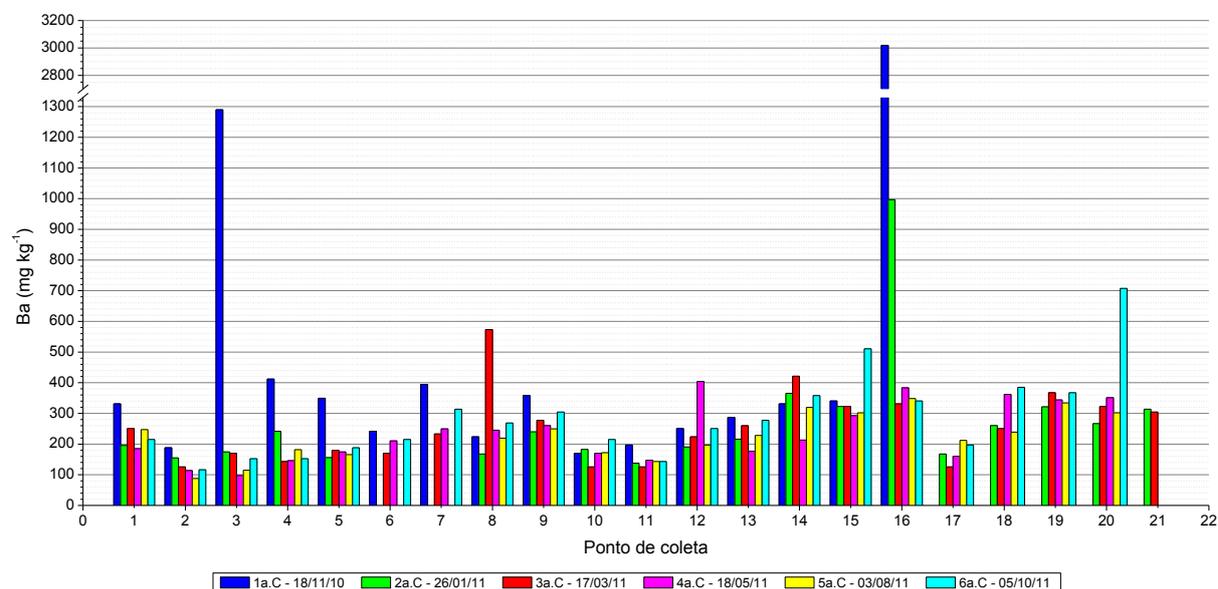


Figura 3.2.2 – Concentração de bário (Ba) no sedimento.

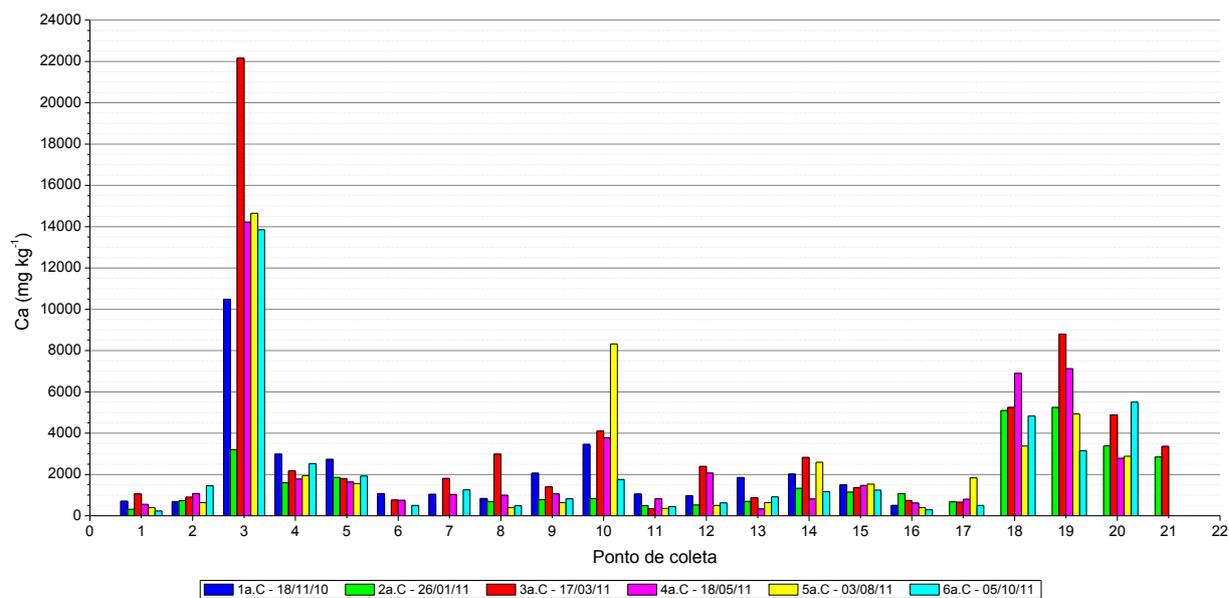


Figura 3.2.3 – Concentração de cálcio (Ca) no sedimento.

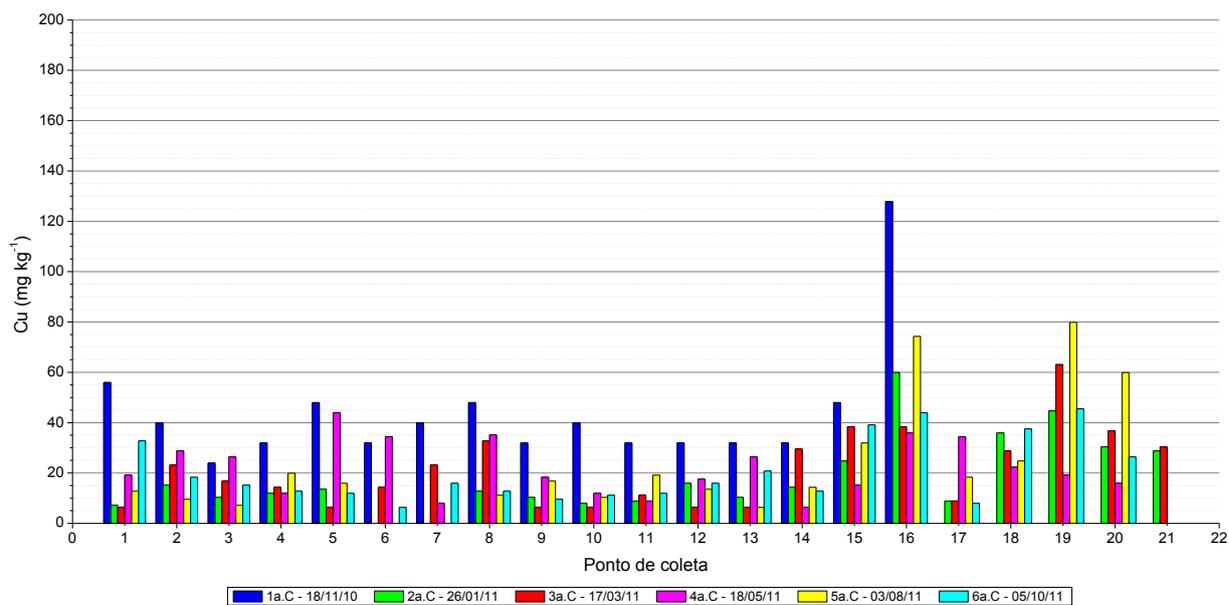


Figura 3.2.4 – Concentração de cobre (Cu) no sedimento.

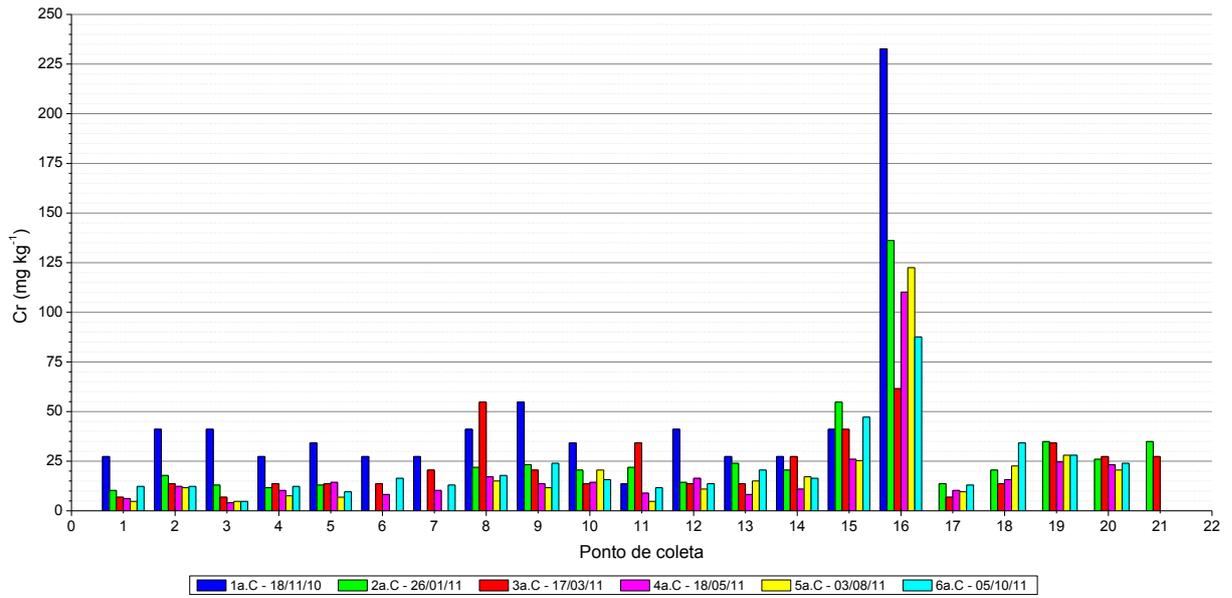


Figura 3.2.5 – Concentração de cromo (Cr) no sedimento.

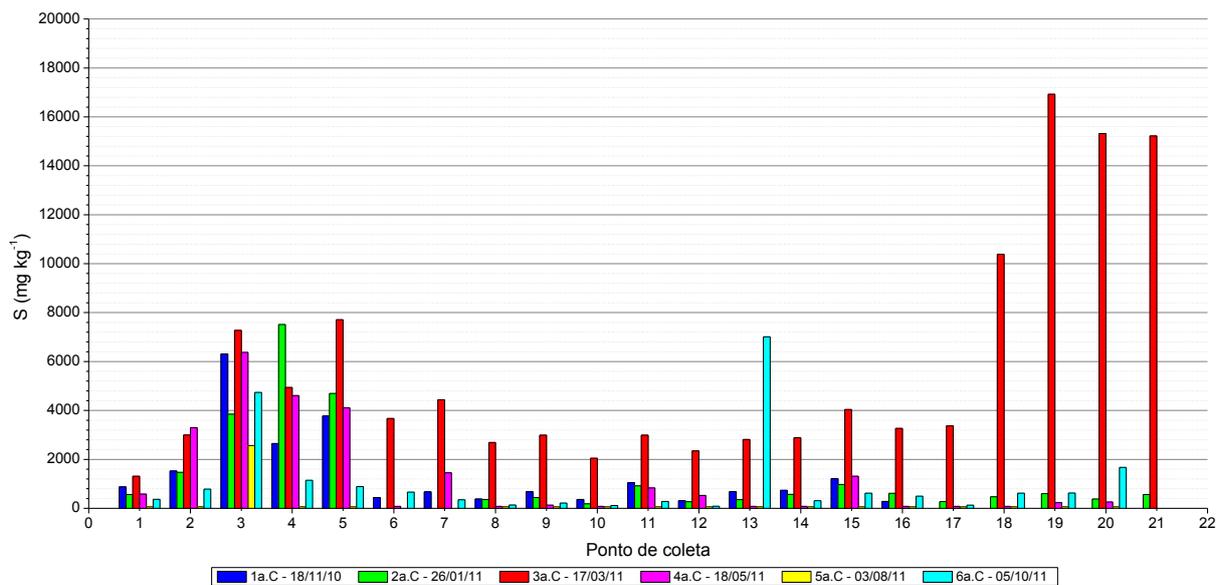


Figura 3.2.6 – Concentração de enxofre (S) no sedimento.

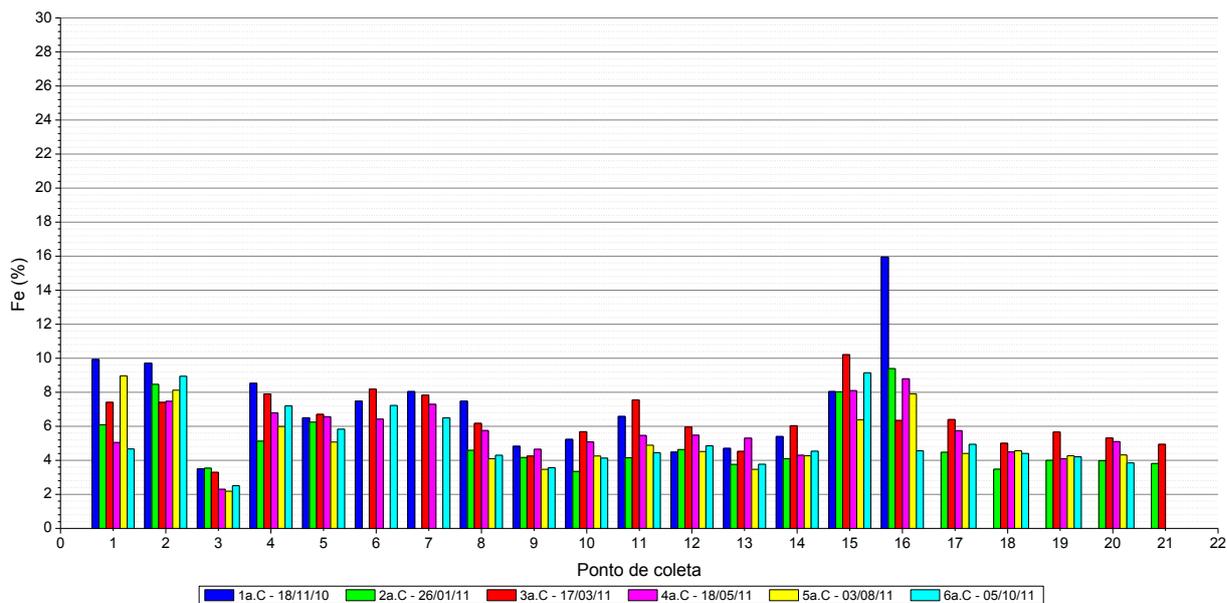


Figura 3.2.7 – Concentração de ferro (Fe) no sedimento.

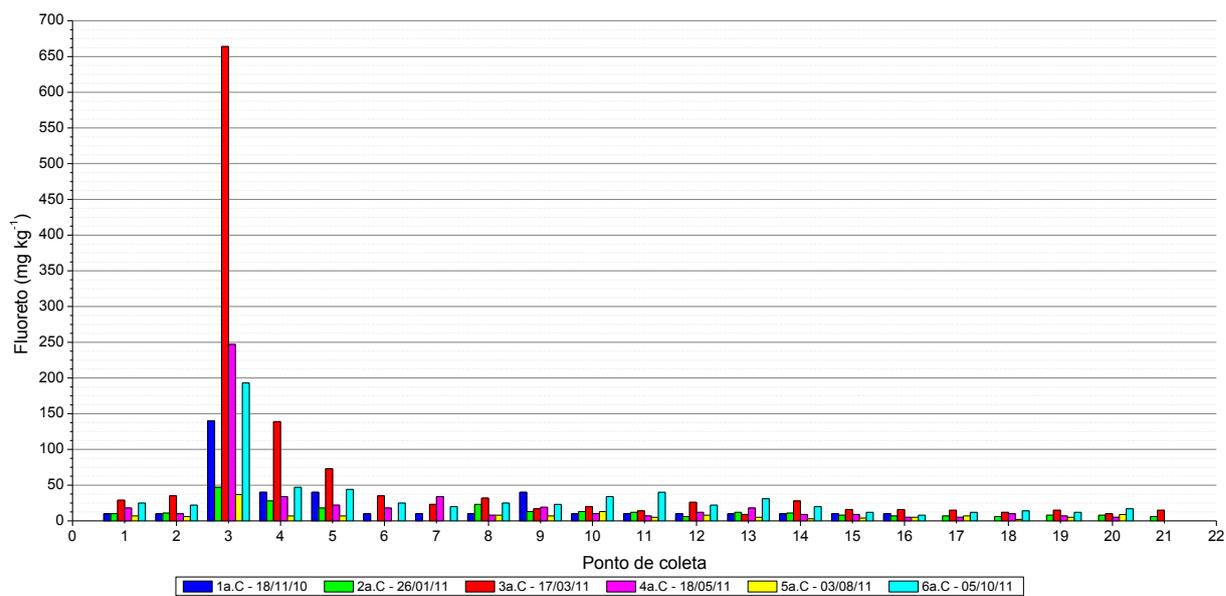


Figura 3.2.8 – Concentração de íon fluoreto (F) no sedimento.

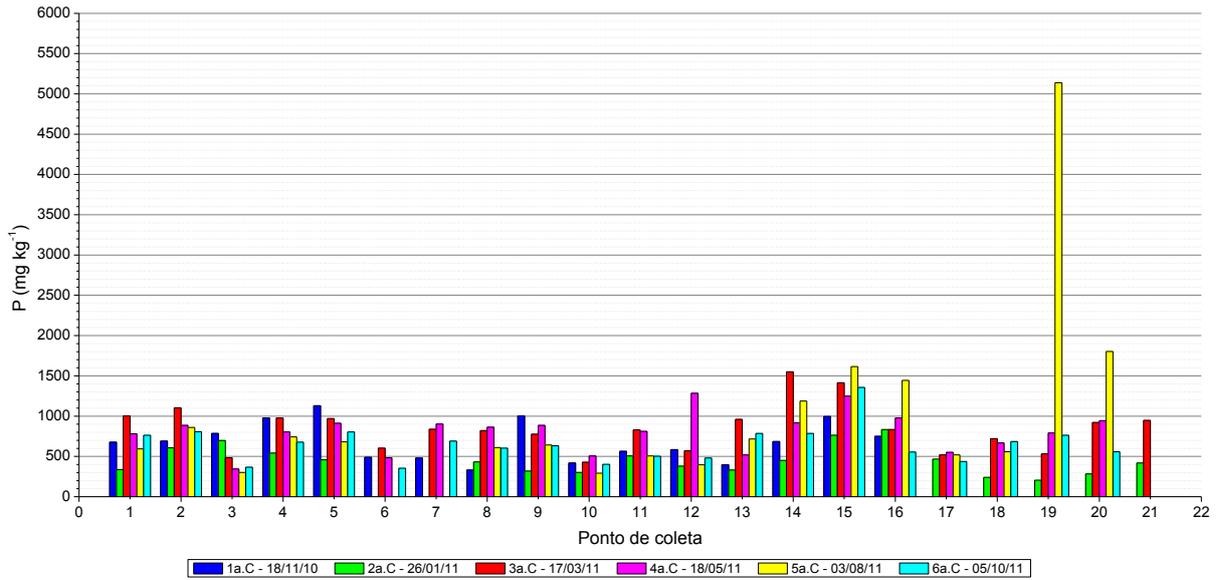


Figura 3.2.9 – Concentração de fósforo (P) no sedimento.

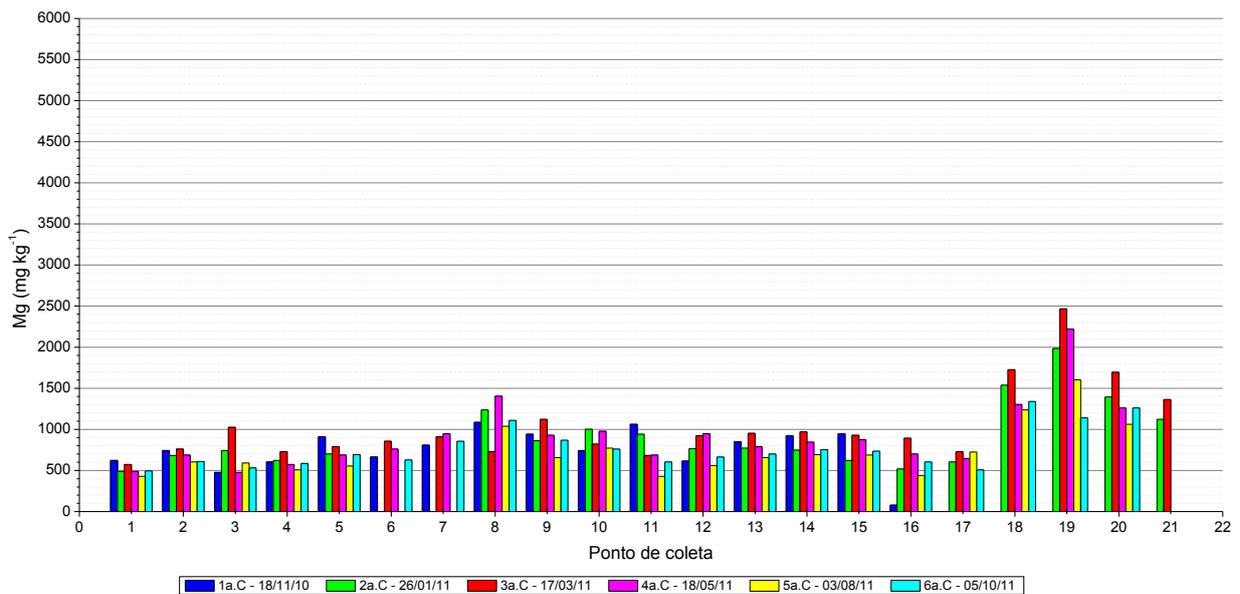


Figura 3.2.10 – Concentração de magnésio (Mg) no sedimento.

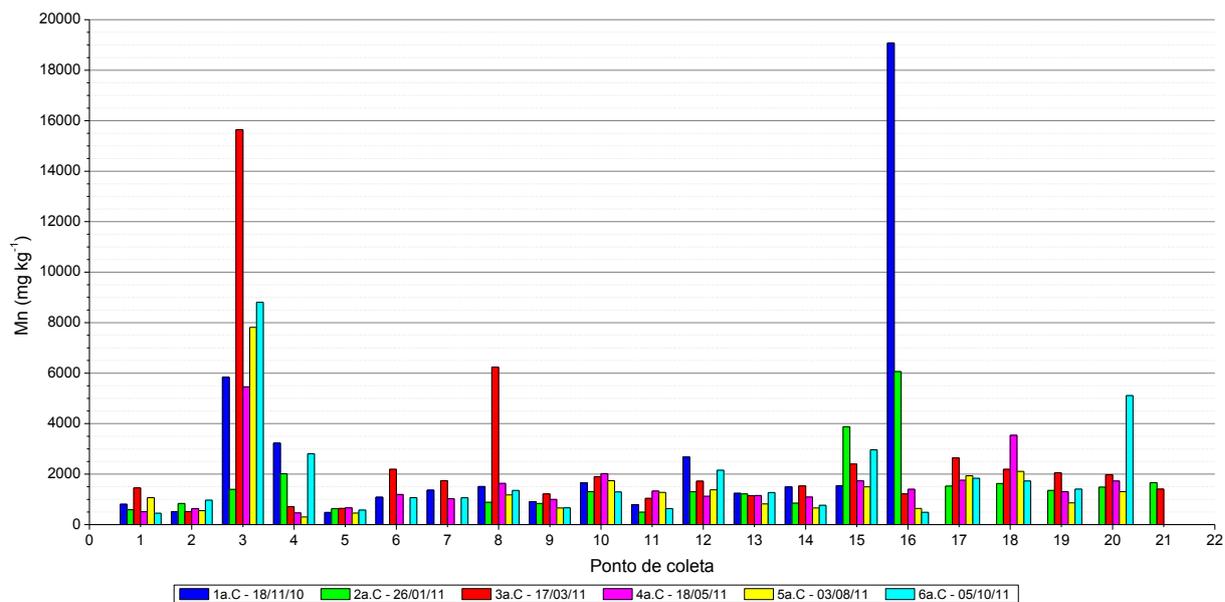


Figura 3.2.11 – Concentração de manganês (Mn) no sedimento.

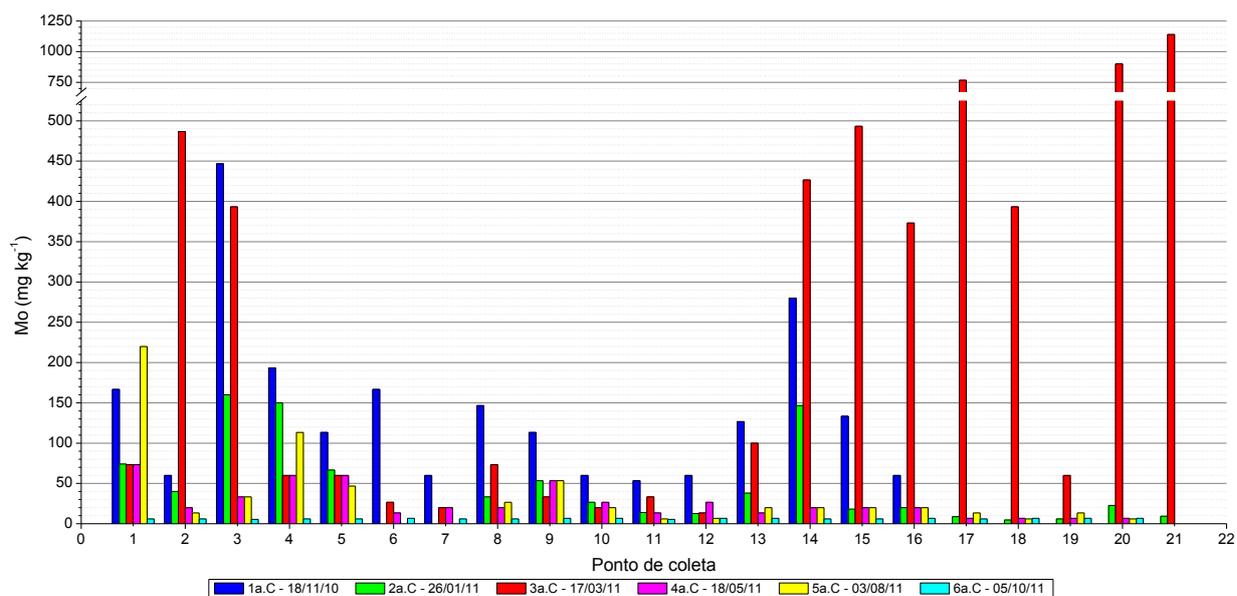


Figura 3.2.12 – Concentração de molibdênio (Mo) no sedimento.

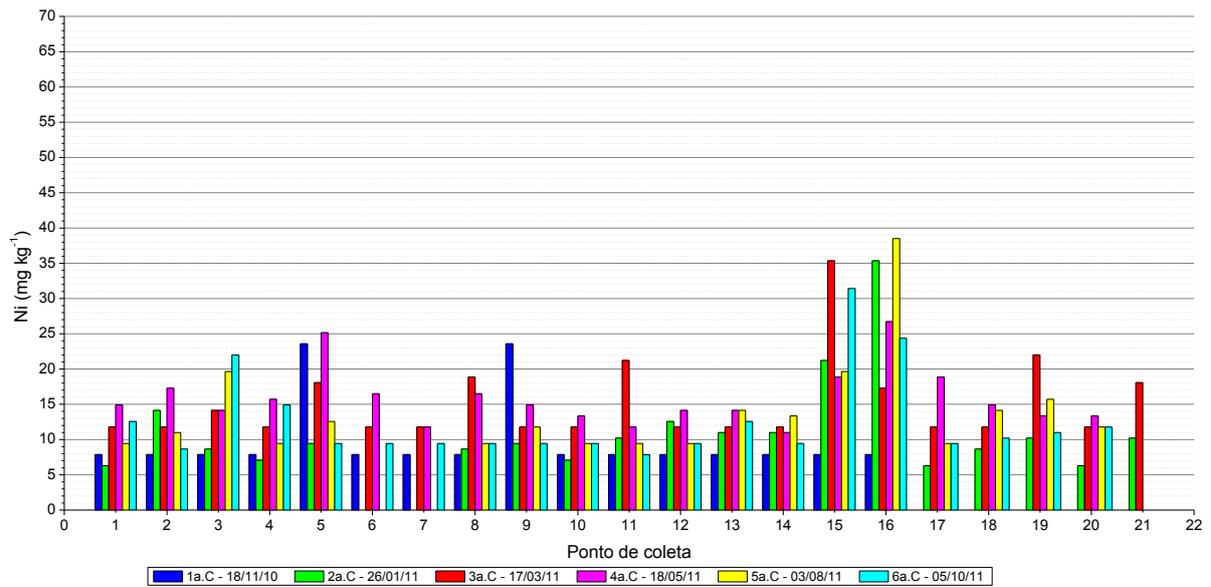


Figura 3.2.13 – Concentração de níquel (Ni) no sedimento.

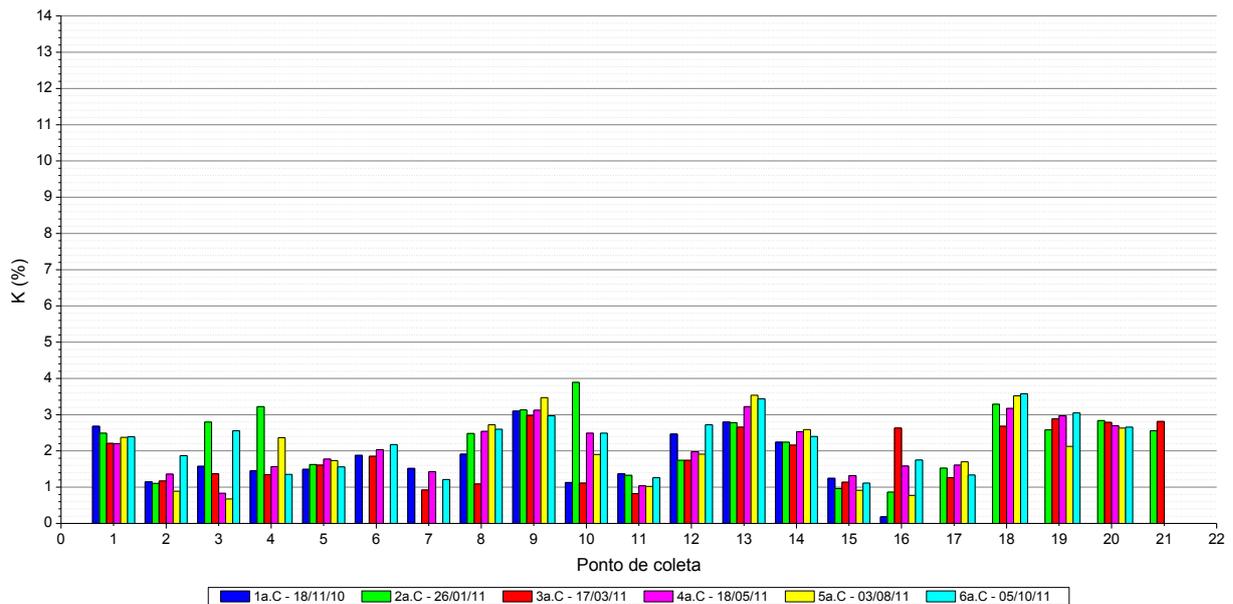


Figura 3.2.14 – Concentração de potássio (K) no sedimento.

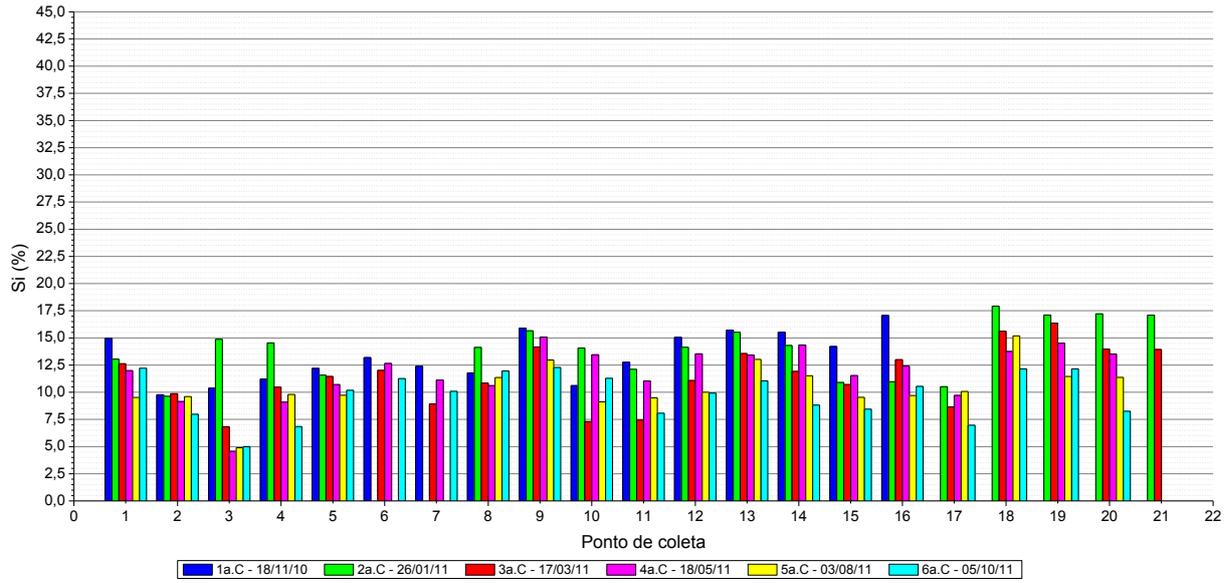


Figura 3.2.15 – Concentração de silício (Si) no sedimento.

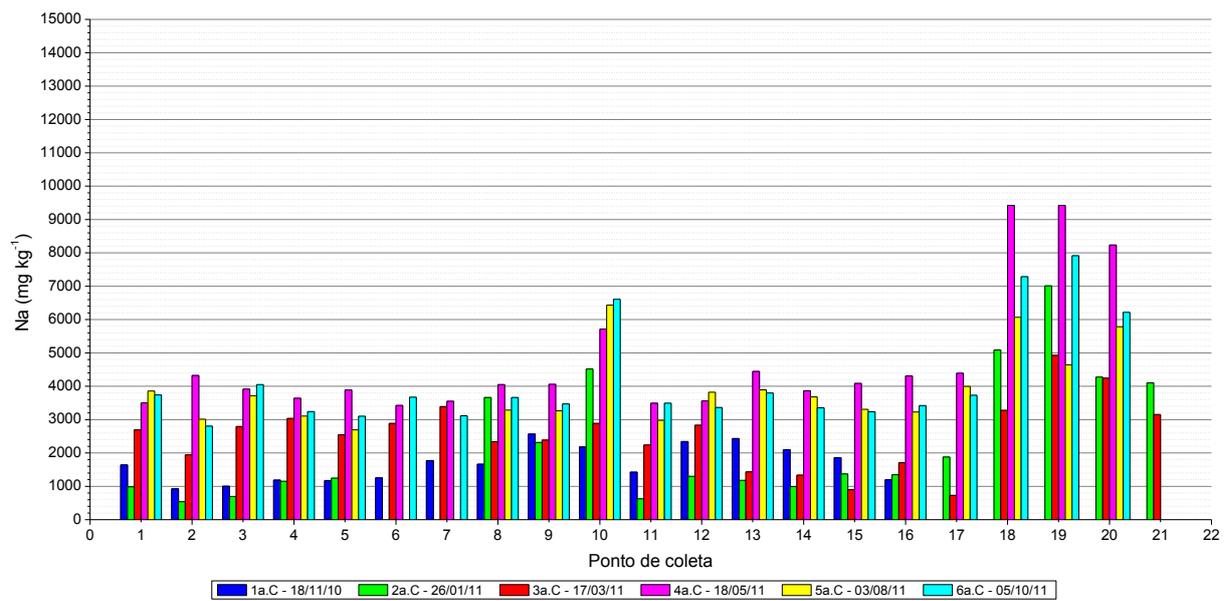


Figura 3.2.16 – Concentração de sódio (Na) no sedimento.

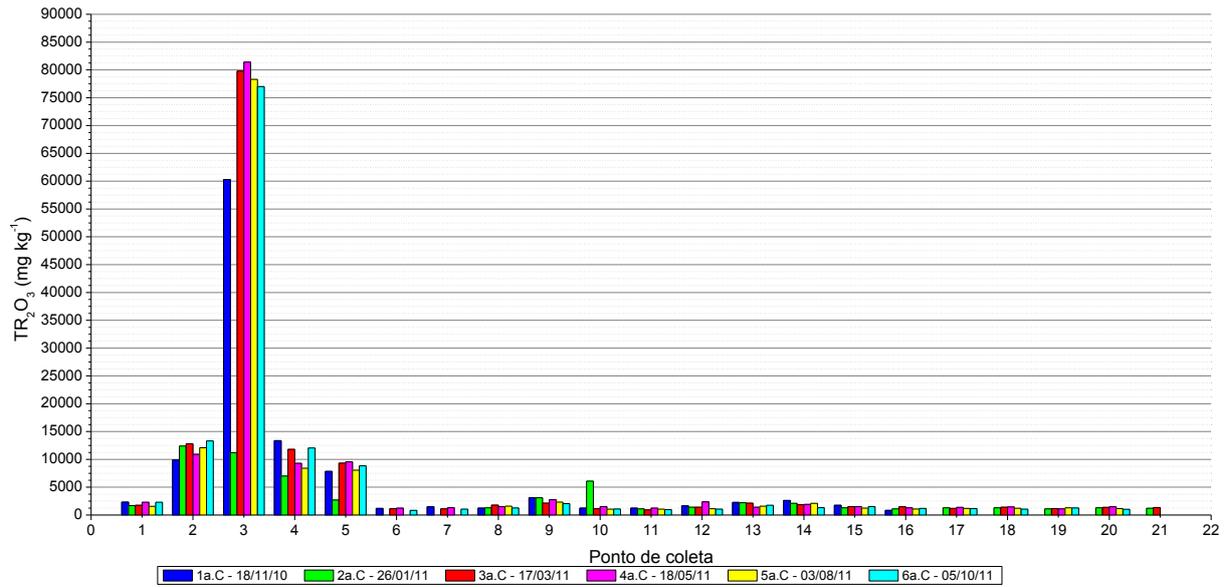


Figura 3.2.17 – Concentração de óxido de terras raras (TR₂O₃) no sedimento.

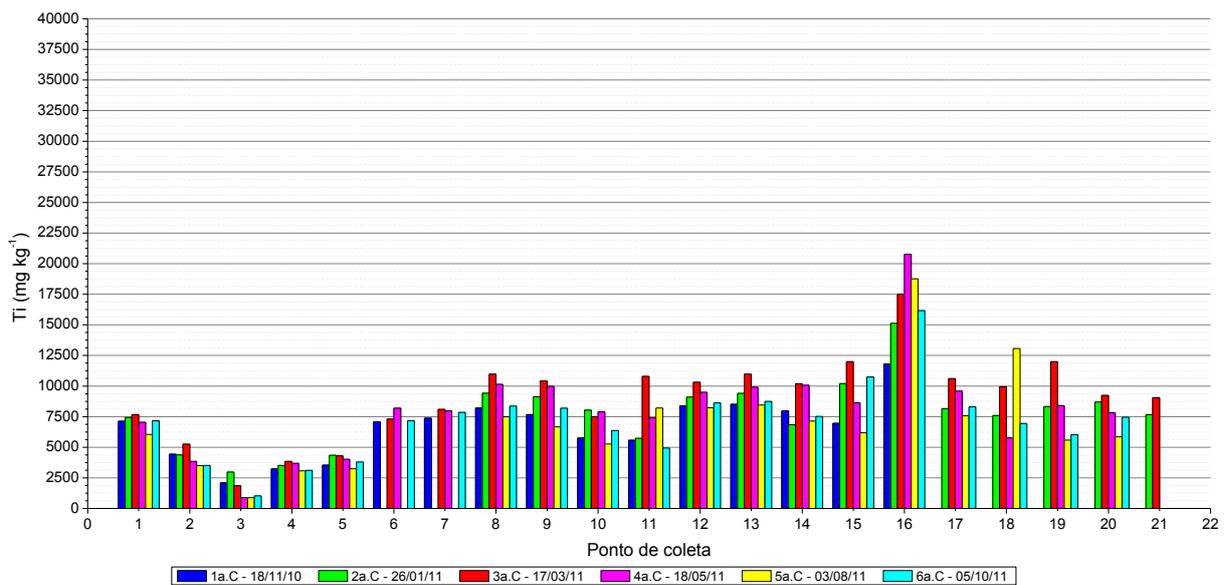


Figura 3.2.18 – Concentração de titânio (Ti) no sedimento.

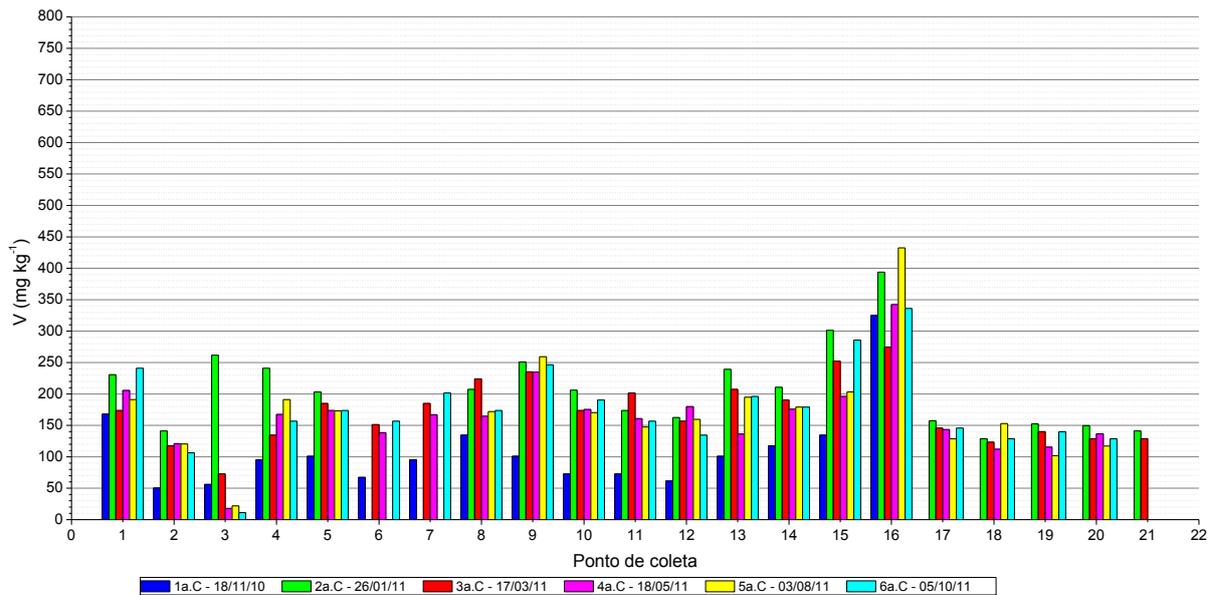


Figura 3.2.19 – Concentração de vanádio (V) no sedimento.

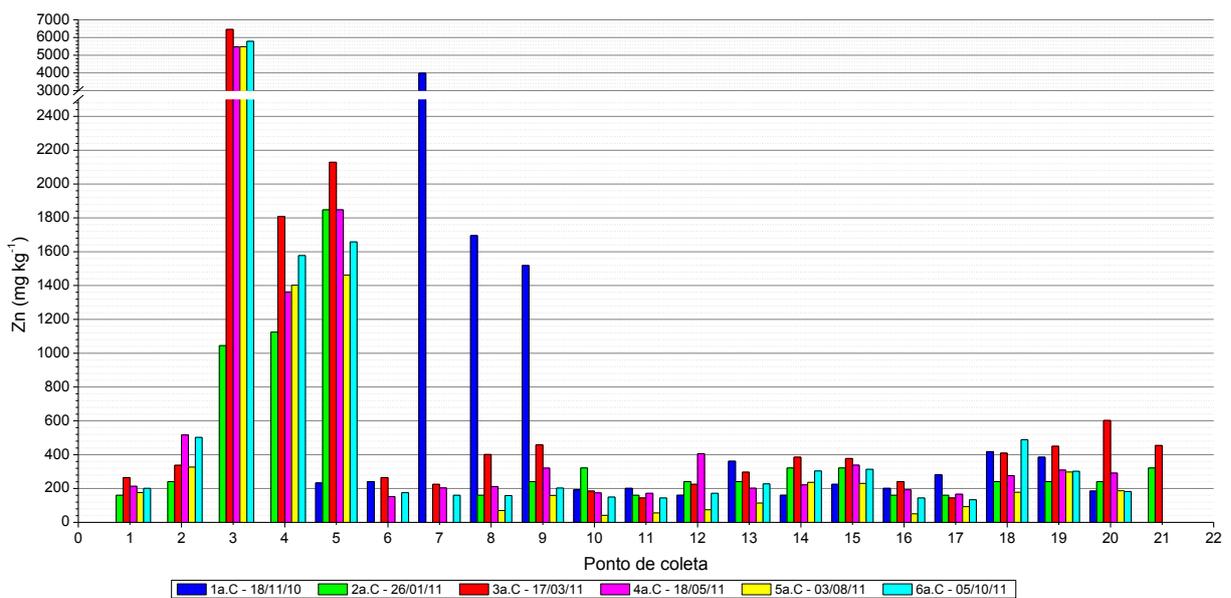


Figura 3.2.20 – Concentração de zinco (Zn) no sedimento.

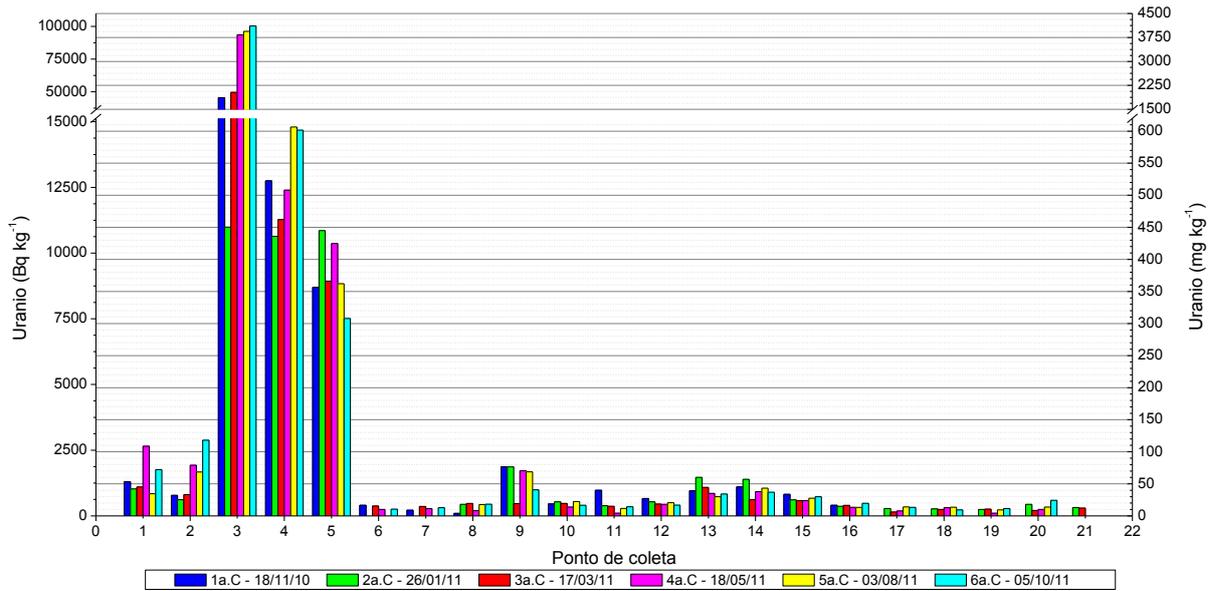


Figura 3.2.21 – Atividade e concentração de urânio (U) no sedimento.

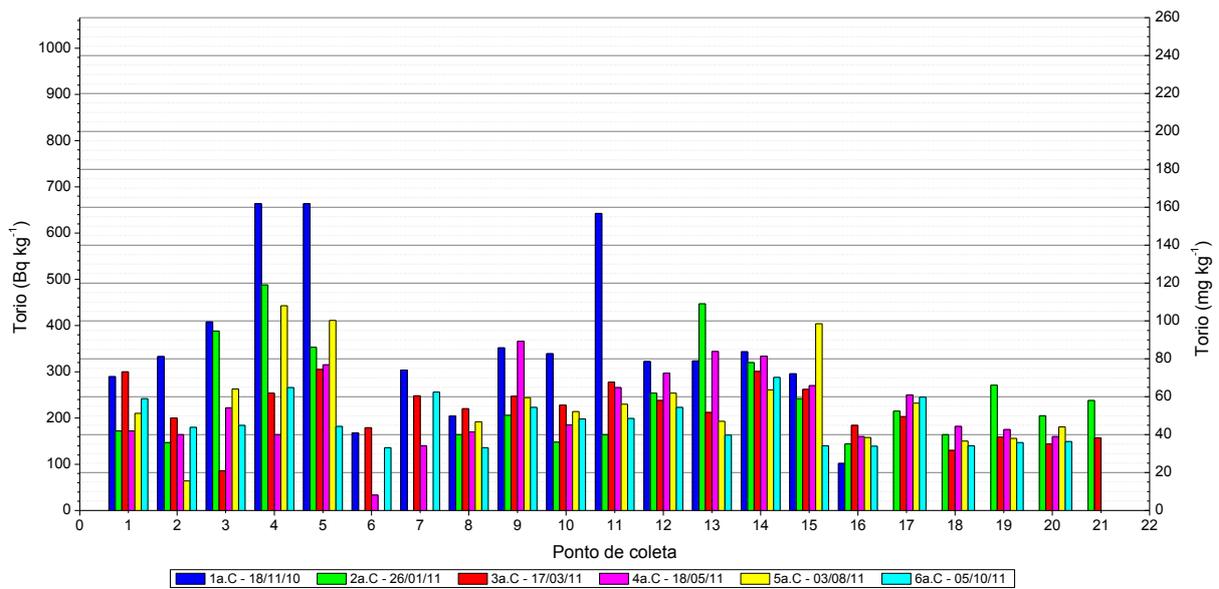


Figura 3.2.22 – Atividade e concentração de tório (Th) no sedimento.

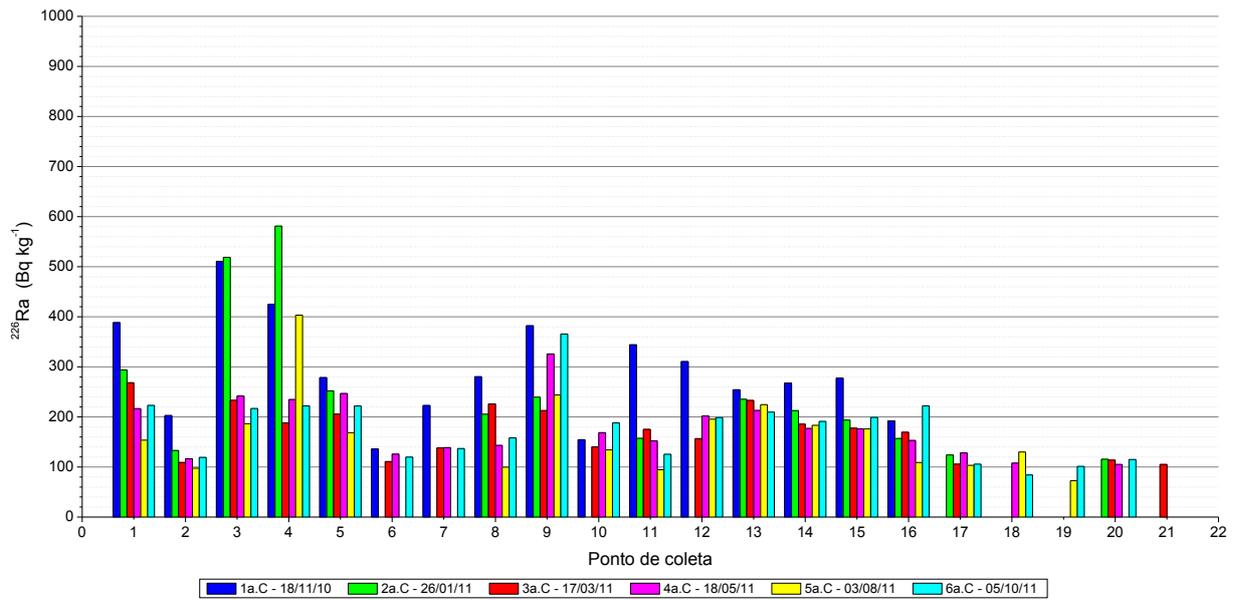


Figura 3.2.23 – Atividade de rádio-226 (^{226}Ra) no sedimento.

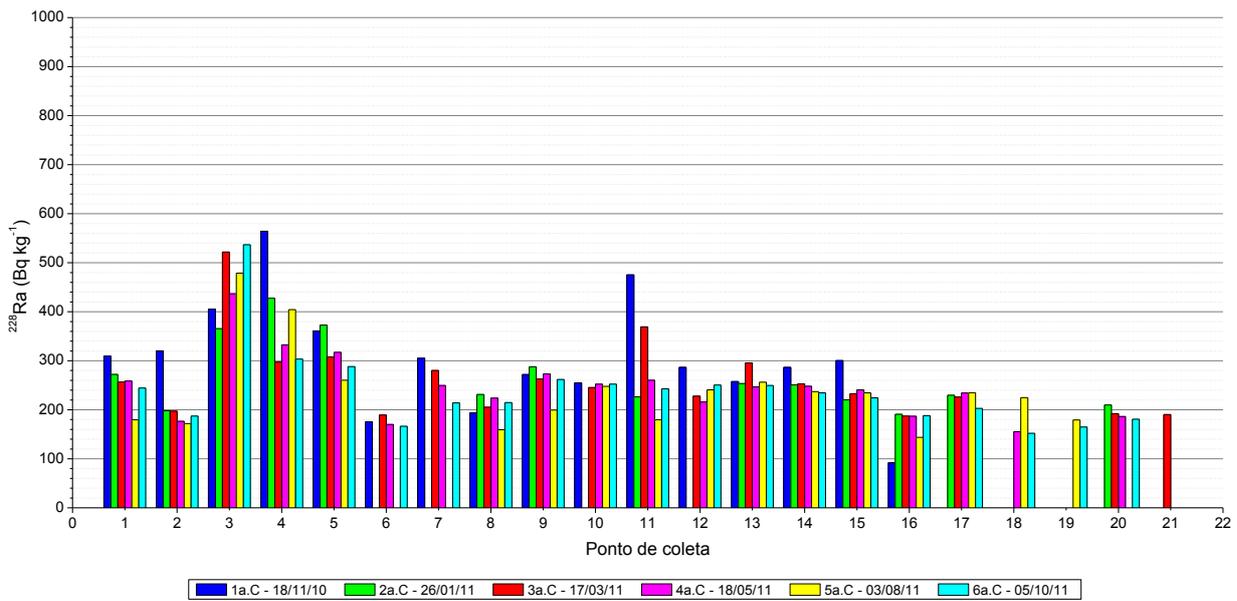


Figura 3.2.24 – Atividade de rádio-228 (^{228}Ra) no sedimento.

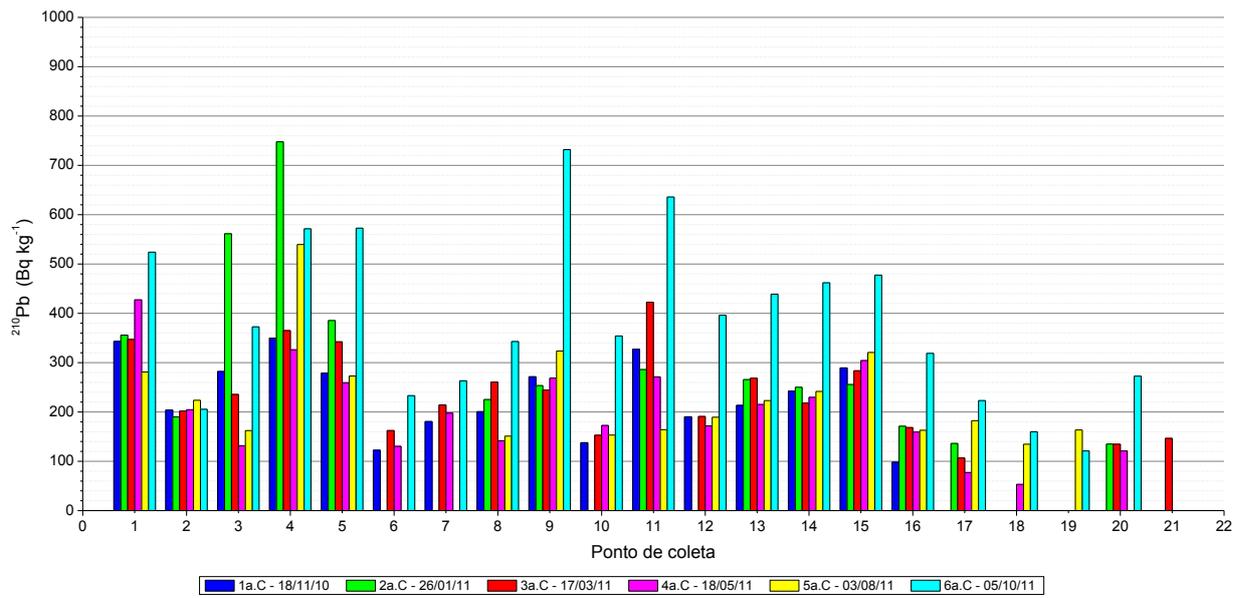


Figura 3.2.25 – Atividade de chumbo-210 (^{210}Pb) no sedimento.

4. CONCLUSÕES

O presente relatório atendeu à demanda inicial que motivou a criação da Comissão das Águas, mais especificamente no tocante aos possíveis agravos ambientais que seriam fruto da operação da INB Caldas no Planalto de Poços de Caldas. Os impactos advindos da instalação foram identificados, incluindo área de abrangência e fonte geradora. Como conclusão, é possível dizer que não há qualquer tipo de impacto radiológico nas águas de abastecimento utilizadas pela zona urbana do Município de Poços de Caldas.

Entretanto, foram encontradas situações anômalas com relação a elementos estáveis (não-radioativos), além de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, em locais que não se relacionam geograficamente ou hidrologicamente com o empreendimento da INB Caldas, mas que impactam diretamente o município.

A partir dos resultados obtidos e levando-se em conta os comentários apresentados, pode-se concluir que os seguintes pontos onde foram coletadas amostras merecem atenção, considerando que para determinados elementos (alumínio, ferro e manganês) quase todos os pontos amostrados apresentaram valores de concentração acima do estabelecido pela resolução CONAMA 357/05, inclusive os pontos de referência ambiental; entende-se que essas condições surgem devido à alta mineralização característica do Planalto de Poços de Caldas:

- Ponto 2 (Bacia de Águas Claras): foram encontradas concentrações significativas de íon fluoreto, manganês e íon sulfato na água, além de terras raras no sedimento. É necessária uma investigação mais detalhada deste ponto, pelos seguintes motivos:
 - Pode haver alguma influência negativa da região a montante deste ponto, onde há atividade agrícola, como resultado de um efeito acumulativo.
 - Pode haver alguma influência na água subterrânea, proveniente de outros locais não identificados.
 - Pode haver uma anomalia de terras raras a montante deste ponto.
- Pontos 3, 4 e 5 (Bacia de Águas Claras): foram encontradas concentrações significativas de íon fluoreto, manganês, íon sulfato, zinco e urânio na água no ponto 3, além de bário, cálcio, enxofre, íon fluoreto, manganês, terras raras, zinco e urânio no sedimento desse mesmo ponto. Os resultados deixaram claro que há uma forte tendência de diluição desses elementos quando se compara o ponto 3 com os pontos 4 e 5, nesta ordem. O mesmo ocorre com o sedimento. Conforme já explicado na apresentação dos resultados, ficou evidente a influência negativa das bacias de decantação que fazem parte do sistema de tratamento de águas ácidas da INB Caldas, localizadas a montante do ponto 3. Em outras palavras, há um passivo ambiental representado por altas concentrações de diversos elementos tanto na água quanto no sedimento da Bacia de Águas Claras, ocasionado pela operação do sistema de tratamento de águas ácidas da INB Caldas.
- Ponto 5 (Bacia de Águas Claras): foram encontradas concentrações dos compostos 4,4-DDD e 4,4-DDT, somadas, 63 vezes acima do limite estabelecido na resolução CONAMA 357/05. Conforme já explicado, o fato foi relatado ao órgão competente, que já apresentou

esclarecimentos. É importante observar que tais compostos não foram detectados nos demais pontos. É necessária nova avaliação desses compostos, visto que a amostragem para essas análises foi feita uma única vez.

- Ponto 8 (Ribeirão Tamanduá, afluente do Ribeirão das Antas): foram encontradas, em algumas oportunidades, concentrações elevadas de coliformes fecais na água, inclusive ultrapassando os limites legais. O provável motivo dessas concentrações elevadas é a liberação de esgoto doméstico não tratado por pequenas propriedades rurais. Visto que a água deste ribeirão é utilizada para fins agrícolas e até de consumo humano, este ponto precisa ser investigado.
- Ponto 9 (Ribeirão das Antas, a jusante da Bacia de Águas Claras): foram encontradas concentrações ligeiramente aumentadas (dentro dos limites legais), em relação aos pontos geograficamente próximos, de cálcio, íon fluoreto, manganês e íon sulfato na água, além de terras raras e urânio no sedimento. Não há uma conclusão sobre os motivos que tenham ocasionado essas concentrações no ponto 9. Porém, foram apresentadas três hipóteses diferentes, que precisam ser melhor estudadas:
 - Ocorrência natural dos elementos em função das características mineralógicas do Campo do Cercado;
 - Impacto ocasionado pelo sedimento depositado na Bacia de Águas Claras;
 - Impacto esperado resultante da liberação controlada de efluentes do empreendimento da INB Caldas.
- Ponto 10 (Córrego Moinhos, afluente do Ribeirão das Antas, a jusante do Aterro Controlado): exceto pela alta concentração de sólidos totais dissolvidos, não foram encontrados resultados significativos.
- Ponto 13 (Ribeirão das Antas, após a confluência com o Ribeirão das Vargens): neste ponto foram encontradas altas concentrações de coliformes fecais, além de baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Novamente isto indica a liberação de esgoto não tratado, provavelmente advindo da zona sul do município de Poços de Caldas. Destaca-se que a responsabilidade pela coleta e tratamento de esgoto no município é do DMAE, ficando o DMA responsável pela fiscalização.
- Pontos 14 e 15 (Represa do Bortolan): no ponto 14 foram encontradas baixas concentrações de oxigênio dissolvido e altas concentrações de coliformes fecais na água. Com relação ao sedimento, foram encontradas concentrações proporcionalmente altas de fósforo (pontos 14 e 15) e níquel (ponto 15). Como estes pontos estão localizados no interior da represa, é necessário investigar se houve alguma fonte próxima que possa ter ocasionado essas altas concentrações. Com relação às altas concentrações de coliformes fecais na água, mais uma vez isto indica a liberação de esgoto não tratado, provavelmente advindo das zonas sul e oeste do município de Poços de Caldas. Esta é uma situação que deve ser tratada pelos órgãos competentes, no caso DMAE e DMA, visto que as águas da Represa do Bortolan são utilizadas para diversos fins tais como recreação, esportes náuticos e até mesmo pesca.

- Ponto 16 (ponto a jusante da Represa do Bortolan): foram encontradas concentrações significativas de diversos elementos no sedimento deste ponto, dentre eles os metais cobre, cromo, manganês, níquel, titânio e vanádio. Não ficou clara a influência do ponto 15 (primeiro ponto a montante, no interior da represa) no ponto 16. Este ponto precisa ser melhor investigado para que se entenda a fonte destas altas concentrações de metais no sedimento. Para isso é necessária uma ação do DMA no sentido de conhecer os processos industriais de todos os empreendimentos com potencial de impacto, que estejam instalados no entorno deste ponto. Com relação às águas coletadas neste ponto, foram encontradas concentrações significativas de coliformes fecais, inclusive superando em até 1000 vezes as concentrações obtidas no ponto 15. Este fato indica que há uma carga significativa de esgoto doméstico sendo lançada, sem tratamento, entre os pontos 15 e 16, o que precisa ser verificado pelo órgão competente.
- Ponto 17 (Represa Saturnino de Brito): foram encontradas altas concentrações de coliformes fecais neste ponto. Visto que a água desta represa é utilizada, após tratamento, para consumo humano, é necessário que o DMAE investigue as possíveis fontes que estejam ocasionando estas altas concentrações.
- Pontos 18, 19, 20 (pontos localizados em ribeirões ou córregos no centro do município de Poços de Caldas): basicamente foram encontradas elevadas cargas biológicas, indicadas principalmente pelas altas concentrações de coliformes, alta demanda bioquímica de oxigênio e baixo oxigênio dissolvido. É necessário investigar as fontes destas cargas biológicas, pois ficou claro que está havendo uma poluição difusa oriunda do esgoto doméstico não coletado na região central do município de Poços de Caldas. É notável esta situação, visto que o município tem foco no turismo hidromineral.
- Ponto 21 (ponto que agrupa todas as águas dos ribeirões e represas estudados): foram observadas alta demanda bioquímica de oxigênio e elevadas concentrações de coliformes fecais na água. É necessário investigar as fontes que estão causando estes efeitos, entretanto é obvio que sejam impactos oriundos dos pontos já citados, mais especificamente, dos pontos 13, 14, 16, 18, 19 e 20.

ANEXO 1 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO NO ANO HIDROLÓGICO CONSIDERADO

