

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

0440500 – TRABALHO DE FORMATURA

ANO LETIVO DE 2018

MONOGRAFIA

INVESTIGAÇÃO DE PASSIVO AMBIENTAL COM ENFOQUE EM METAIS EM ÁREA
DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

TF - 18/34

Orientador: Joel Barbujani Sígolo

Coorientador: Marcos Rogerio de Araujo

Aluno: Naomi Kikuchi Bernstein

Assinatura do orientador

Assinatura da Aluna

SÃO PAULO

2018

RESUMO

Este trabalho de formatura é vinculado ao estágio realizado pela aluna na área de geologia ambiental, com gerenciamento de áreas contaminadas. O objetivo foi realizar o diagnóstico da situação atual de um passivo ambiental com enfoque em elementos metálicos potencialmente tóxicos. A área de estudos foi utilizada como aterro para resíduos industriais oriundos de atividades da indústria siderúrgica.

Foi realizada amostragem de água subterrânea pelo método de baixa vazão com medição de parâmetros físico-químicos *in situ*, perfuração de sondagens investigativas, sendo quatro a montante da área do aterro e dez na área do aterro. Foram realizadas análises de concentrações de metais totais e dissolvidos nas amostras de água subterrânea e análises de concentrações de metais em amostras de solo subsuperficial, foi realizado levantamento de todo o histórico ambiental da área. Foi realizado o agrupamento de amostras de solo de acordo com características texturais e indícios visuais de contaminação para comparação estatística de concentrações de metais através de gráficos do tipo *box plot*. Foi analisada a evolução das concentrações de metais dissolvidos em água subterrânea. As concentrações de metais observadas foram comparadas aos valores orientadores preconizados pelas legislações vigentes.

A análise estatística de concentrações de metais em resíduos, através de *box plots*, se mostrou útil para diferenciar o perfil de materiais que apresentam característica visual e textural diversa. Os resultados indicaram contaminação por Pb, Cr, Mo e Ni em água subterrânea e Cr, Cu, Mo, Pb, Ni e Hg em solo. Para os elementos Mo, Mn e Ni, as concentrações observadas em água subterrânea parecem aumentar ao longo do tempo, entretanto, as variações observadas podem estar relacionadas a fatores sazonais. O principal receptor ecológico para a contaminação observada é o córrego que atravessa a área de estudos.

ABSTRACT

This graduation work is linked to the stage carried out by the student in the area of environmental geology, with management of contaminated sites. The objective was to diagnose the current situation of an environmental liability with a focus on potentially toxic metallic elements. The study area was used as a landfill for industrial waste from the activities of the steel industry.

Groundwater sampling was carried out using the low-flow method with the measurement of physical-chemical parameters in situ, drilling of investigative surveys, four upstream of the landfill area and ten in the landfill area. Analyzes of concentrations of total and dissolved metals in the groundwater samples and analyzes of metal concentrations in subsurface soil samples were carried out. A survey of the entire environmental history of the area was carried out. Soil samples were grouped according to textural characteristics and visual contamination indices for statistical comparison of metal concentrations through *box plot* graphs. The evolution of concentrations of dissolved metals in groundwater was analyzed. The observed concentrations of metals were compared to the guideline values recommended by the current legislation.

The statistical analysis of metal concentrations in residues, through box plots, proved useful to differentiate the profile of materials that have different visual and textural characteristics. The results indicated contamination by Pb, Cr, Mo and Ni in groundwater and Cr, Cu, Mo, Pb, Ni and Hg in soil. For the elements Mo, Mn and Ni, the concentrations observed in groundwater seem to increase over time, however, observed variations may be related to seasonal factors. The main ecological receptor for the observed contamination is the stream that crosses the study area.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às minhas duas mães:

Mãe, Katia Kikuchi.

Mãe-avó, Maria José de Almeida.

AGRADECIMENTO

Deixo aqui meu sincero e profundo agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui. Foi uma longa caminhada de muito aprendizado e crescimento como profissional, como cidadã e como ser humano. Nessa vida não somos nada sem os outros, eu também não seria.

Agradeço aos mestres pela atenção, paciência e dedicação ao nobre ato do ensino.

Agradeço aos amigos pela companhia, apoio e paciência nesses anos de faculdade e antes disso.

Agradeço, em especial, à minha família por todo o amor, apoio incondicional e fé que depositaram em mim nessa trajetória.

Sem vocês nada disso teria sido possível. Obrigada!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	2
3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. O gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil	3
3.2. Definição de valores orientadores para metais em solo e água subterrânea e sua relação com estudos de <i>background</i> geoquímico	4
3.3. Comportamento geoquímico metais em aterros de resíduos.....	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS	7
4.1. Execução de sondagens para amostragem de solo	7
4.2. Amostragem de água subterrânea	8
4.3. Análises químicas	9
4.4. Tratamento de dados	11
5. RESULTADOS OBTIDOS	11
5.1. Caracterização da Área de Estudos	11
5.1.1. <i>Localização</i>	11
5.1.2. <i>Caracterização da Área de Estudo</i>	12
5.1.3. <i>Histórico ambiental da área</i>	12
5.2. Tratamento de dados anteriores	15
5.3. Plano de amostragem e perfuração	27
5.4. Elaboração de mapa potenciométrico	27
Legenda: N.A: nível d'água.....	28
5.5. Amostragem de água subterrânea e aferição de parâmetros físico-químicos <i>in situ</i> .	28
5.6. Resultados analíticos em amostras de solo	31
5.7. Resultados analíticos das amostras de água subterrânea	32
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	35
6.2. Comparação das concentrações de metais em amostras de solo descrito como material do aterro e descrito como solo.	36
6.3. Histórico de concentrações de metais totais e dissolvidos observados em água subterrânea	36

6.4. Comparação da concentração de metais em água subterrânea com as concentrações observadas em solo.....	39
6.5. Diagnóstico ambiental	40
6.6. Modelo conceitual da área	40
7. CONCLUSÕES.....	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A: Trado mecanizado utilizado para perfuração das sondagens investigativas. B: Amostrador do tipo liner descartável utilizado para obtenção de amostras de solo. C: Amostras de solo acondicionadas em frascos de vidro para transporte ao laboratório.	8
Figura 2 - A: Estação de trabalho para amostragem de água subterrânea. B: Equipamento multiparâmetro para aferição de parâmetros físico-químicos <i>in situ</i> . C: Amostras de água subterrânea acondicionadas em frascos de vidro para transporte ao laboratório.	9
Figura 3 - Planta da área de estudo com delimitação da área com resíduos e marcação de pontos de sondagem e sessão geológica realizados em 2015.....	11
Figura 4 – Gráficos do tipo box plot para comparação de concentrações de Al e Ba em grupos de amostras de solo (mg/kg).	16
Figura 5 – Gráficos do tipo box plot para comparação de concentrações de Fe e Mn em grupos de amostras de solo (mg/kg).	17
Figura 6 – Gráficos do tipo box plot para comparação de concentrações de Pb e Cu em grupos de amostras de solo (mg/kg).	17
Figura 7 - Gráficos do tipo box plot para comparação de concentrações de Cr e Mo em grupos de amostras de solo (mg/kg).	17
Figura 8 - Gráficos do tipo box plot para comparação de concentrações de Cr e Mo em grupos de amostras de solo (mg/kg).	18
Figura 9 - Gráficos do tipo box plot para comparação de concentrações de Zn em grupos de amostras de solo (mg/kg).	18
Figura 10 – Índice de precipitação mensal no período de janeiro de 2010 a setembro de 2018 e níveis d'água mensurados no período.....	20
Figura 11 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-23.	21
Figura 12 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-24.	21
Figura 13 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-38.	22

Figura 14 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-38.	22
Figura 15 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-42.	23
Figura 16 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-44.	23
Figura 17– Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-45.	24
Figura 18 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-48.	24
Figura 19 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-49.	25
Figura 20 - Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-52.	25
Figura 21 - Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-63.	26
Figura 22 - Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-64.	26
Figura 23 – Gráfico de estado de oxidação (Diagrama de Pourbaix) das amostras de água subterrânea.	30
Figura 24 - Mapa de ocorrências de concentrações de metais acima do Valor de Intervenção em amostras de solo.	32
Figura 25 - Mapa de ocorrências de metais totais acima do valor de intervenção observadas em água subterrânea.	34
Figura 26 - Mapa de ocorrências de metais dissolvidos acima do Valor de Intervenção observadas em água subterrânea.	35

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a manutenção do meio ambiente, visando à proteção da saúde humana e dos serviços ecológicos prestados, está prevista na constituição e é mediada por diversas leis (Brasil, 1981; CONAMA, 2009). Entretanto, até meados dos anos 90 procedimentos e legislações específicas sobre o tema eram escassos e a disposição de resíduos sólidos diretamente sobre o solo, sem o devido cuidado para evitar a poluição do meio, era prática comum. As atividades industriais sem o devido cuidado no manuseio de substâncias poluentes e a disposição inadequada de diversos tipos de resíduos contaminaram áreas em todo o território nacional, muitas das quais ainda não foram devidamente identificadas e diagnosticadas.

Tais passivos configuram um legado que deve ser gerenciado pelos devidos responsáveis legais e pelo Estado Brasileiro, de modo a evitar expor a saúde da população e receptores ecológicos a efeitos deletérios e conter, da forma que for possível, o aumento da degradação do meio. Para isso, desenvolveram-se a partir do início dos anos 2000 metodologias, normas técnicas e legislações visando nortear as ações de gerenciamento de áreas contaminadas com enfoque no diagnóstico adequado e gerenciamento dos riscos associados, permitindo inclusive, a depender da extensão da degradação, a reutilização de tais áreas para diversos usos. Para isso, o diagnóstico adequado da contaminação presente em uma área é parte essencial do processo.

Inserida neste contexto, a área de estudo deste trabalho de formatura foi utilizada durante a década de 1990 para disposição de resíduos de construção civil e materiais diversos, associados à indústria siderúrgica, sem os devidos processos de impermeabilização. A área que, na época de utilização, se encontrava isolada e afastada das áreas ocupadas da cidade, hoje se encontra inserida no perímetro urbano, devido ao loteamento de áreas antes utilizadas para fins agrícolas, resultando em uma expansão da área urbana do município. Essa expansão da mancha urbana expõe, potencialmente, novos receptores a riscos e exerce pressão de ocupação sobre a mesma, uma vez que terrenos ociosos inseridos no perímetro urbano são alvos preferenciais para ocupações irregulares.

Devido a questões contratuais, a localização e identificação exata da área de estudos e o nome das empresas será mantida em sigilo

Pretende-se neste trabalho realizar o diagnóstico da situação atual da contaminação presente na área, que já está inserida no processo de gerenciamento de áreas contaminadas, com foco nos elementos potencialmente tóxicos (PTE): Al, Sb, Ar, Ba, B, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, V e Zn.

Para tanto, foi analisado o histórico de estudos ambientais realizados na área, a revisão bibliográfica de temas pertinentes, a definição das direções preferenciais de fluxo da água subterrânea e análises químicas quantitativas em amostras de solo e água subterrânea. Tal diagnóstico poderá contribuir para subsidiar uma melhor tomada de

decisão futura a respeito do gerenciamento da área por parte dos responsáveis legais e dos órgãos públicos envolvidos.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

2.1. Objetivos

Geral

O objetivo deste Trabalho de Formatura é realizar o diagnóstico da situação atual de um passivo ambiental, com enfoque em elementos metálicos potencialmente tóxicos. O diagnóstico será feito através de análises de concentrações de metais totais e dissolvidos em água subterrânea e análise da concentração de metais em amostras de solo, em uma área que foi utilizada, no passado, para disposição de resíduos industriais. Esclarecendo, assim, quais metais apresentam concentrações acima dos padrões de referência vigentes, e podem oferecer risco a receptores humanos e ecológicos.

Específico

Como objetivos específicos deste trabalho de formatura são:

- a) Definir as direções preferenciais de fluxo da água subterrânea;
- b) Investigar a concentração de metais no solo a montante da área de aterro, a fim de identificar quais as concentrações naturais de metais para o solo da área, sem influência direta da contaminação;
- c) Investigar, a partir das análises químicas em solo, a composição química do material aterrado, com enfoque em metais;
- d) Analisar a evolução das concentrações de metais dissolvidos em água subterrânea, através dos dados disponíveis a partir de etapas anteriores de investigação ambiental realizadas na área;
- e) Identificar, dentre os metais presentes em água subterrânea, quais estão em concentrações anômalas devido à interação do material aterrado com o meio.

2.2. Justificativas

Sabe-se que o passivo ambiental acumulado ao longo do tempo gera preocupação pela possibilidade de causar dano a receptores humanos e ecológicos. Para evitar que estes danos se concretizem, é importante que seja realizada a pesquisa e o acompanhamento de áreas onde existem tais passivos, de forma a aumentar a compreensão sobre o comportamento destes materiais e os possíveis riscos envolvidos, sendo esta uma área de atuação para profissionais envolvidos com as ciências da Terra, como os geólogos.

O diagnóstico ambiental realizado pela aluna contribui com um estudo de caso sobre um passivo ambiental que contém metais pesados, gerado a partir da disposição de resíduos diversos, provenientes da indústria siderúrgica. Esse diagnóstico contribui para subsidiar uma melhor tomada de decisão futura a respeito do gerenciamento da área por parte dos responsáveis legais e dos órgãos públicos envolvidos.

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil

No Brasil, o passo inicial para o estabelecimento de regras para a proteção do ambiente como um todo se deu pela Lei Federal nº 6.938 (BRASIL, 1981), que sanciona a Política Nacional do Meio Ambiente. Tal lei estabelece as diretrizes para licenciamento ambiental de atividades potencialmente contaminadoras e tem como um de seus princípios o uso racional dos recursos naturais e a recuperação de áreas degradadas.

Foram desenvolvidas e publicadas pela CETESB, desde o início dos anos 2000, normas (CETESB, 2005), estudos técnicos, e procedimentos de referência (CETESB, 2013) para o gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil. A versão mais recente dos procedimentos desenvolvidos e exigidos pelo órgão ambiental foi publicada via decisão de diretoria no final de 2017 (CETESB, 2017).

Para avaliar a qualidade do solo, foram definidos para concentrações de metais valores de referência de qualidade (VRQ) e valores de prevenção (VP), definidos através de estudos de *background* geoquímico, e diversos valores de intervenção (VI) definidos através de estudos de risco toxicológico para os cenários de uso do solo como área agrícola, residencial ou industrial. Para água subterrânea, foi definido apenas o valor de intervenção para concentrações de metais totais (CETESB, 2001).

Caso as concentrações de substâncias químicas de interesse (SQI) observadas em uma área ultrapassem os valores de intervenção, a área passa a ser considerada contaminada. Caso as concentrações observadas ofereçam risco à saúde humana para o uso atual ou pretendido, medidas de remediação, engenharia ou controle institucional devem ser tomadas pelos responsáveis técnicos e legais de forma a evitar expor os receptores a tal risco.

Embora os órgãos ambientais disponibilizem os valores de referência para o risco genérico em cada cenário de ocupação, é comum que sejam elaboradas, pelos responsáveis técnicos, análises de risco específicas para o cenário de cada área de estudo, com base em planilhas para análise de risco toxicológico disponibilizado pela própria CETESB.

A Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009 estabeleceu o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas, nos moldes desenvolvidos pela CETESB, a nível federal. Deixou-se a cargo dos órgãos de controle ambiental cada estado definir os respectivos valores de alerta e de referência de qualidade, entretanto ainda hoje diversos estados brasileiros não realizaram ou oficializaram os resultados de tais estudos.

Agências de controle ambiental de outros países utilizam metodologias similares para o gerenciamento de áreas contaminadas, com adoção de valores de referência, para concentrações de metais e outras substâncias químicas em solo e água subterrânea, baseando-se em estudos de *background* geoquímico a análises de risco toxicológico para

diversos cenários. Como exemplo pode-se citar a *U.S. Environmental Protection Agency* USEPA, que atualiza tais valores de referência semestralmente (USEPA, 2018).

3.2. Definição de valores orientadores para metais em solo e água subterrânea e sua relação com estudos de *background* geoquímico

Os primeiros valores orientadores adotados pela CETESB foram definidos pelo trabalho de Lemos (2001). Segundo Casarini (2002), os valores orientadores (valor de referência de qualidade, valor de alerta e valor de intervenção) para concentrações de substâncias e elementos químicos em solo e água subterrânea foram definidos pela CETESB com base em estudos de *background* geoquímico e avaliações de risco à saúde humana. O valor de referência de qualidade (R) indica o nível de qualidade para um solo considerado limpo ou a qualidade natural para as águas subterrâneas. O valor de alerta (A) indica uma possível alteração da qualidade natural do meio. O valor de intervenção (I) indica o limite de contaminação acima do qual existe risco de efeito deletério à saúde humana. O objetivo de se estabelecer valores orientadores para compostos químicos foi fornecer diretrizes e subsidiar decisões, visando à proteção do meio e também o gerenciamento de áreas contaminadas.

Os Valores Orientadores para metais foram estabelecidos, para concentrações de metais em solo a partir do quartil superior (75%) de um conjunto de amostras de solo coletadas em diversas áreas, representativas dos principais tipos de solo do estado de São Paulo, em locais com pouca ou nenhuma influência antropogênica. Os Valores Orientadores para águas subterrâneas foram definidos com base no quartil superior (75%), para concentrações de metais observadas em poços tubulares utilizados para abastecimento público.

A lista de valores de referência de qualidade foi atualizada pela CETESB em 2005 (CETESB, 2005), em 2014 (CETESB, 2014) e mais recentemente em 2016 (CETESB, 2016).

Rodrigues & Nalini Jr (2006) destacam que estudos para estabelecimento de valores de *background* geoquímico são importantes, pois, através destes, é possível avaliar riscos potenciais de contaminações e identificar concentrações naturais de elementos-traço em uma determinada área. O estabelecimento dos valores de *background* pode ser feito pelo método direto ou indireto.

O método direto se dá através de análises de amostras reconhecidamente isentas de influência antrópica ou em que tal influência seja mínima.

O método indireto, ou estatístico, se dá através da análise estatística de um grande número de amostras, buscando identificar valores anômalos numa série de dados estudada (Galuska, 2007). Os procedimentos utilizados foram desenvolvidos inicialmente para a prospecção de bens minerais.

Fadigas et al. (2006) destacaram que, para a identificação de valores potencialmente anômalos, uma abordagem útil é classificar as amostras de solo em grupos de acordo com critérios como a capacidade de troca catiônica, teor de argila e concentrações totais de ferro e manganês, pois os teores de metais pesados naturais em um solo tendem a variar acompanhando tais parâmetros.

Gloaguen e Passe (2017) destacam que, em solos sedimentares do nordeste brasileiro, o ambiente geológico de formação da rocha-fonte é um fator determinante mais importante que os processos pedogenéticos para as concentrações de metais em solos sedimentares. No estudo, solos derivados de folhelhos apresentaram concentrações de metais até 30 vezes maiores que solos derivados de arenitos. Sedimentos oriundos da erosão de rochas máficas também contribuem para aumentar as concentrações naturais de metais.

A Tabela 1 sumariza os valores orientadores que serão utilizados neste trabalho. Será priorizada a utilização dos valores orientadores definidos pela CETESB (2016), os mais recentes em território nacional. Na ausência destes, serão utilizados os valores preconizados pelo CONAMA (2009) e, na ausência de parâmetros nacionais, serão utilizados parâmetros internacionais (USEPA, 2018).

Tabela 1: Valores orientadores para solo e água subterrânea.

Fonte	CETESB, 2016					CONAMA, 2009	USEPA, 2018	
Matriz	Solo (mg/kg peso seco)					Água Subterrânea (µg/L)		
Elemento	VQR	VP	VI			VI	VI	‘Screening levels’
			Agrícola	Residencial	Industrial			
Al	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3500	20000
Sb	<0,5	2	5	10	25	5	5	7,8
Ar	3,5	15	35	55	150	10	10	0,52
Ba	75	120	500	1300	7300	700	700	3800
B	NR	NR	NR	NR	NR	2400	500	4000
Cd	<0,5	1,3	3,6	14	160	5	5	9,2
Pb	17	72	150	240	4400	10	10	15
Co	13	25	35	65	90	70	70	6
Cu	35	60	760	2100	10000	2000	2000	800
Cr	40	75	150	300	400	50	50	NR
Cr VI	NR	NR	0,4	3,2	10	NR	NR	0,35
Fe	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2450	14000
Mn	NR	NR	NR	NR	NR	NR	400	430
Hg	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1	1	0,63
Mo	<4	5	11	29	180	30	70	100
Ni	13	30	190	480	3800	70	20	390
Ag	0,25	2	25	50	100	50	50	94
Se	0,25	1,2	24	81	640	10	10	100
V	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	86
Zi	60	86	1900	7000	10000	1800	1050	6000

Legenda: VQR: Valor de Referência de Qualidade; VP: Valor de Prevenção; VI: Valor de Intervenção; NR: Não Regulamentado.

3.3. Comportamento geoquímico metais em aterros de resíduos

As propriedades das águas subterrâneas dependem das características das fontes de recargas e também da interação da água com componentes sólidos, líquidos e gasosos do solo. O transporte e fixação de partículas nas soluções dos solos se realizam através de fenômenos físicos, como os de advecção, difusão e dispersão e também químicos como sorção/dessorção, complexação, troca iônica e coprecipitação (Hypolito et al., 2011).

Advecção é o processo através do qual o soluto é transportado pelo movimento da água, sofrendo influência apenas do gradiente hidráulico, sem considerar possíveis mecanismos de retardação, ou seja, é um mecanismo de transporte onde não ocorre variações na massa e na concentração do soluto. O transporte do soluto se dá acompanhando a direção de fluxo da água subterrânea.

Difusão molecular é o processo através do qual o soluto se desloca devido ao gradiente de concentração, se movendo dos locais que apresentam maior concentração para os locais que apresentam menor concentração. Ao longo do percurso, devido à dispersão do soluto, é possível observar uma redução nas suas concentrações, apesar da massa de soluto se manter inalterada.

Dispersão mecânica é a movimentação desordenada dos solutos em todas as direções, em função da tortuosidade, da ramificação e da interpenetração dos vazios, o que promove a divisão dos canais de fluxo, resultando na dispersão da massa de soluto. Assim como no processo de difusão, as concentrações sofrem uma redução, apesar de não haverem alterações na massa total de solutos.

Sorção é o fenômeno de aderência de partículas ao sólido, normalmente as partículas do solo, promovendo a fixação (temporária ou definitiva) das moléculas de soluto. Além do retardamento do deslocamento do soluto, a sorção promove uma redução das concentrações das plumas de contaminantes e, também, uma redução na massa de soluto disponível na água subterrânea.

O fenômeno inverso da sorção, ou seja, a liberação de partículas adsorvidas às partículas do solo e sua liberação para a água subterrânea chama-se dessorção (Hypolito et. al, 2011).

Locais de disposição de resíduos sólidos entre camadas de solo, com ou sem a impermeabilização adequada, são comumente chamados de aterros. Tais aterros apresentam grande variabilidade no que diz respeito às obras de engenharia realizadas ou não para disposição de resíduos, o tipo de resíduo depositado, o número de células de resíduos entre camadas de solo. Além disso, o comportamento geoquímico do material também varia ao longo do tempo, conforme ocorre a degradação dos resíduos, e também pode variar de acordo com as condições climáticas e geográficas do local onde o aterro foi construído.

Alves (2012) realizou em sua dissertação de mestrado uma revisão do conteúdo disponível na literatura a respeito do comportamento hidrogeoquímico de águas subterrâneas impactadas por aterros de resíduos sólidos, uma vez que o lixiviado dos resíduos constitui uma importante fonte potencial de contaminação para aquíferos. Segundo Alves (2012), “A água subterrânea alterada pelos lixiviados passa, ao longo do tempo e espaço, por diversos processos biogeoquímicos que são responsáveis pela formação de diferentes zonas redox no meio ambiente subterrâneo. Essas zonas redox condicionam o comportamento das diversas substâncias oriundas do próprio lixiviado e outras que resultam da interação entre a água subterrânea, lixiviado e meio geológico”.

Dentre os trabalhos pesquisados na literatura, a grande maioria refere-se ao estudo de contaminação em aterros de resíduos sólidos urbanos ou a lixões. Tais locais possuem características diferentes da área estudada devido à natureza dos resíduos, predominantemente orgânica.

Quanto a estudos em aterros de resíduos industriais, Nascimento *et. al.* (2006) analisou a disponibilidade de metais pesados em um aterro de resíduos de indústria siderúrgica em Cubatão - SP, similar ao que está sendo apresentado neste Trabalho de Formatura. Foram encontradas altas concentrações de manganês e chumbo em água subterrânea. Concluiu-se que estes metais estavam sendo lixiviados a partir dos resíduos do aterro. O estudo também alertou para o risco de bioacumulação destas substâncias na cadeia trófica, expondo a população ribeirinha da região ao consumo de pescados contaminados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Execução de sondagens para amostragem de solo

Entre os dias 8 e 14 de agosto de 2018 os serviços de execução de sondagens e coleta de amostras de solo foram realizados na área de estudo. Foram realizadas 04 (quatro) sondagens de reconhecimento em área localizada a montante da deposição dos resíduos com o objetivo de definir os valores de *background* para metais nas áreas dos aterros.

Foram realizadas de 10 (dez) sondagens de reconhecimento na área do aterro para coleta de amostras de solo. As perfurações foram realizadas utilizando-se trado mecanizado helicoidal (fotografia 01A), com diâmetro externo de 4 polegadas.

Durante as sondagens foram realizadas análises tátil-visuais do solo e perfilagem litológica contínua das perfurações. A coleta de amostras foi realizada com *liner* descartável (fotografia 01B), cravado na profundidade de interesse antes da continuidade da perfuração, evitando-se a manipulação e deformação das amostras e, também, o contato da amostra com metais da perfuratriz mecanizada. Ao término de cada sondagem, o material utilizado foi descontaminado com a utilização de sabão neutro e água deionizada, conforme recomendado em ABNT (2007).

Em cada sondagem foi coletada, a partir do conteúdo do *liner*, uma amostra de solo a 0,5 m de profundidade para análise de concentração de metais (fotografia 01C). Desta maneira, foram encaminhadas para análise química laboratorial 14 (quatorze) amostras de solo. Todas as amostras de solo foram acondicionadas em frascos específicos e conservadas em refrigeração a 4°C, registradas em cadeia de custódia, e entregues ao laboratório para a análise de metais. Como comparativo das análises químicas, foram adotados neste Trabalho de Formatura os valores orientadores estabelecidos pela Decisão de Diretoria nº 256/2016 (CETESB, 2016), cenário de uso residencial.



Figura 1 - A: Trado mecanizado utilizado para perfuração das sondagens investigativas. B: Amostrador do tipo *liner* descartável utilizado para obtenção de amostras de solo. C: Amostras de solo acondicionadas em frascos de vidro para transporte ao laboratório.

4.2. Amostragem de água subterrânea

Entre os dias 21 de agosto e 09 de setembro de 2018 a amostragem de água subterrânea foi executada.

Foram coletadas 25 (vinte e cinco) amostras de água subterrânea em pontos distribuídos pela área e próximos a receptores humanos e ecológicos. As amostras coletadas foram enviadas para a análise laboratorial de metais totais e dissolvidos. Além da amostragem dos poços de monitoramento foram coletadas 6 (seis) amostras para controle de qualidade, sendo 2 (duas) réplicas, 2 (dois) brancos de campo e 2 (dois) brancos de equipamento.

A amostragem da água subterrânea (Figura 02A) foi realizada por técnicos capacitados da empresa. A metodologia de amostragem será a de baixa vazão, conforme a norma técnica brasileira ABNT NBR 15.847 (2010).

A purga dos poços com auxílio de bomba peristáltica (modelo VW5000) foi executada até a estabilização dos parâmetros *in situ*, representada por 3 leituras consecutivas dentro de um intervalo de variação pré-estabelecido. Os parâmetros físico-químicos: oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade elétrica, potencial de oxidação e redução e turbidez serão monitorados *in situ* (Figura 02B), em uma célula de fluxo com medidor multiparâmetro da marca Hanna (HI98194). Para análise de metais dissolvidos foi realizada a filtração das amostras em campo com filtro descartável de 0,45 micra. A

estabilização foi aferida através de 03 leituras consecutivas dentro dos seguintes intervalos de variação:

- Rebaixamento do nível da água: < 10 cm;
- Temperatura: +/- 0,5°C;
- pH: +/- 0,2 unidades;
- Condutividade elétrica: +/- 5% das leituras;
- Oxigênio dissolvido: +/- 10% das leituras ou +/- 0,2 mg/L, o que for maior;
- Potencial de oxirredução: +/- 20mV;
- Turbidez: 3 medições abaixo de 10 NTU utilizando o equipamento HI 93703C.

Os equipamentos utilizados no processo de amostragem foram descontaminados antes do início da amostragem de cada poço de monitoramento utilizando água deionizada e detergente não fosfatado. As amostras coletadas foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo para preservação durante o transporte ao laboratório (Figura 02C).

Os efluentes e resíduos gerados, provenientes das atividades de campo foram armazenados e identificados adequadamente para posterior destinação final a ser realizada pelo responsável pela área.

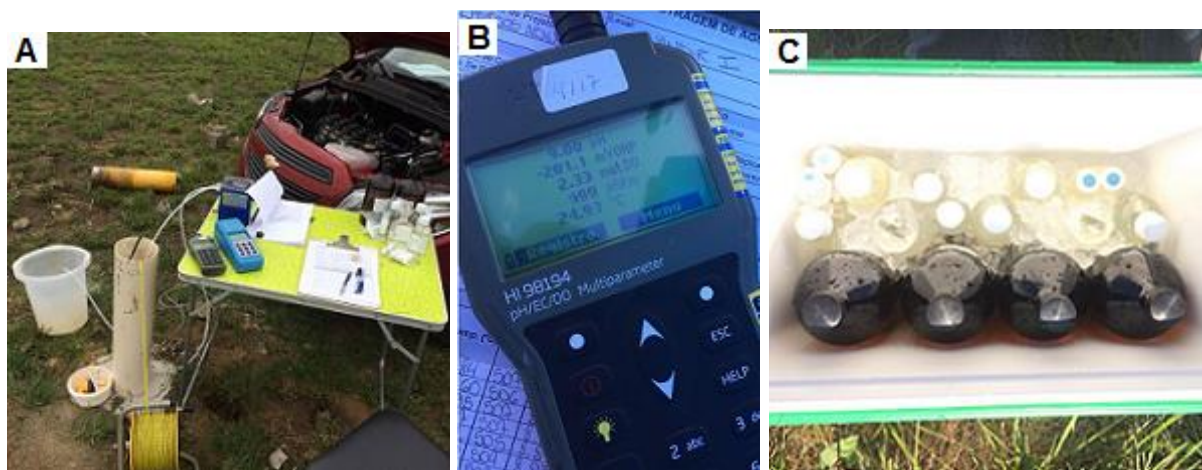


Figura 2 - A: Estação de trabalho para amostragem de água subterrânea. B: Equipamento multiparâmetro para aferição de parâmetros físico-químicos *in situ*. C: Amostras de água subterrânea acondicionadas em frascos de vidro para transporte ao laboratório.

O nível d'água nos poços de monitoramento presentes na área foi aferido com medidores eletrônicos de nível d'água. Os dados foram utilizados para confecção de um mapa potenciométrico através da interpolação das cargas hidráulicas aferidas segundo Freeze e Cheney (1979), a fim de definir as direções preferenciais de fluxo da água subterrânea no aquífero raso (freático).

4.3. Análises químicas

Foram realizadas análises químicas para os seguintes elementos metálicos, em amostras de solo e água subterrânea: Al, Sb, Ar, Ba, B, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, V e Zn. As análises foram realizadas em laboratório particular acreditado pelo INMETRO segundo a norma NBR ISO/IEC 17.025 (ABNT, 2005).

As análises químicas para metais totais e dissolvidos em 25 amostras de água subterrânea seguiram as recomendações do método USEPA 6020A para os elementos chumbo e mercúrio e USEPA SW 846 - método 6010 D para os demais elementos analisados.

As análises químicas de metais foram realizadas em 14 amostras de solo seguiram os métodos USEPA 3050B e USEPA 6010 D, sendo 4 delas a montante da área do aterro para definição de *background*. Também foi realizado ensaio de lixiviação nas 04 amostras a montante, de acordo com o método ABNT NBR 10005:2004. A aplicação desse método de lixiviação encontrou-se pendente face à disponibilidade de recursos a serem aplicados nesse caso.

O ensaio de Lixiviação de acordo com o método NBR 10.005:2004 (ABNT, 2004) trata do método para obtenção de extratos lixiviados a partir de resíduos sólidos, com objetivo de classificar o resíduo como perigoso (classe I) ou não perigoso (classe II). O método visa determinar a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas por meio de dissolução no meio extrator. A amostra é triturada e colocada em num frasco com um líquido extrator de pH ácido, onde é mantida em agitação por um período de cerca de 18 horas. Após esse período, a amostra é filtrada e o líquido encaminhado para análise química. O filtrado obtido é denominado extrato lixiviado e é encaminhado para análise química (método USEPA SW 846 – 6010 D).

No método USEPA SW 846 – 6010 D é realizada análise por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-AES). É uma técnica utilizada para determinar concentrações de elementos-traço em soluções aquosas. Utiliza uma fonte de excitação de plasma de argônio à alta temperatura (7.000 a 10.000 K) para produzir, em uma amostra introduzida em neblina no centro do plasma, átomos excitados que emitem radiação em comprimentos de onda na faixa de 125 a 950 nm, característicos dos elementos nela presentes. Tal radiação emitida tem seus comprimentos de onda separados por sistemas ópticos e suas intensidades respectivas medidas por meios de detectores de radiação específicos e correlacionas a elementos químicos específicos (USEPA, 2014).

O método USEPA 6020A consiste em análises por Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS). Esse método é capaz de detectar elementos em concentrações inferiores a 0,1 µg/L. Esse método mede íons produzidos através de rádio frequências induzidas. Os íons produzidos em altas temperaturas são introduzidos no plasma e então analisados num espectrômetro de massa. Onde esses íons são separados de acordo com sua massa atômica e quantificados por um feixe de elétrons (USEPA, 1998).

As amostras para análise química de metais totais em água subterrânea (não filtradas) e de metais em solo devem por digestão ácida antes da análise química. O método USEPA 3050B descreve os procedimentos de digestão ácida que devem ser utilizados. Trata-se de uma dissolução parcial das amostras em ácido através de uma digestão ácida

muito forte que dissolve quase todos os elementos passíveis de se tornar “ambientalmente disponíveis”. As estruturas cristalinas dos silicatos não são dissolvidas. (USEPA, 1996).

4.4. Tratamento de dados

Os dados obtidos foram comparados à legislação vigente (CETESB, 2016). Além disso, foram separados em grupos, conforme a origem: análises de solo para metais totais e extrato lixiviado a montante da área de aterro, análises de solo da área do aterro, análises de água subterrânea a montante do aterro, análises de água subterrânea da área do aterro.

Também foram analisados os dados obtidos por trabalhos realizados anteriormente na área, de concentrações de metais em solo e água subterrânea. Foram disponibilizados para alguns relatórios de trabalhos realizados na área em 2005, 2009, 2011, 2014 e 2015. Os relatórios foram avaliados e os dados utilizados para compor um quadro amplo do diagnóstico ambiental da área. Dados de concentração de metais obtidos em amostras de solo e água subterrânea também foram analisados.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Caracterização da Área de Estudos

5.1.1. Localização

Devido a questões contratuais, a localização e identificação exata da área de estudo será mantida em sigilo. As coordenadas apresentadas neste trabalho foram alteradas para preservar tais informações. Na Figura 3 é apresentada a planta da área de estudo com delimitação das porções do terreno utilizadas para disposição de resíduos.

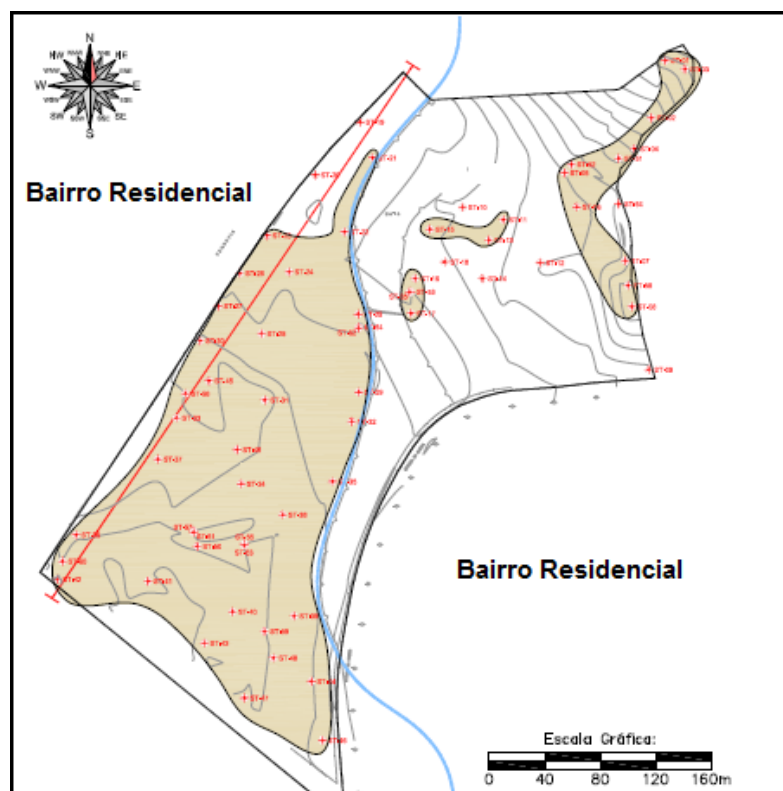


Figura 3 - Planta da área de estudo com delimitação da área com resíduos e marcação de pontos de sondagem e sessão geológica realizados em 2015.

5.1.2. Caracterização da Área de Estudo

O aterro ocupa uma área de aproximadamente 32.000 m², onde houve disposição de resíduos industriais no período entre 1995 e 1997. O mesmo foi devidamente cercado e sinalizado. Dentre os resíduos depositados, predomina material de construção civil, seguido de resíduos de refratário, lama e pó coletor de alto forno, lama de ETEQ (Estação de Tratamento de Efluentes Químicos), lama de aciaria e lama e borra de alcatrão. Ou seja, resíduos predominantemente inorgânicos.

O clima é do tipo tropical de altitude, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. A umidade relativa do ar geralmente é alta (77%). A temperatura média é de 20°C, a média mínima anual de 16,5 °C e média máxima anual de 27,8 °C. A precipitação média anual é de 1.377,9mm, sendo que a maior incidência de chuvas ocorre no verão, nos meses de janeiro e fevereiro.

O relevo é do tipo acidentado com altitude variando entre 371 e 378 metros. A área é cortada por uma drenagem de direção SE-NW, com sentido de fluxo para NE.

A área é recoberta predominantemente por vegetação rasteira e, em menor escala, por vegetação arbórea e arbustiva. Há indícios de queimadas e presença humana esporádica no local.

Quanto à geologia, o aterro localiza-se sobre sedimentos aluvionares de idade quaternária e terciária, sobrepostos ao embasamento cristalino, composto por gnaisses bandados com silimanita, granada, muscovita e biotita, assim como hornblenda-biotita-gnaisses migmatíticos, ambos de origem metassedimentar.

Foi verificado, através de acesso ao banco de dados de cadastro de poços do SIAGASCPRM (<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>, acessado em 26/06/2018), que não existem poços de captação outorgados num raio de 1 km do empreendimento. O entorno é ocupado por rodovias, bairros residenciais a leste e oeste, uma ferrovia a leste.

5.1.3. Histórico ambiental da área

As atividades de diagnóstico e gerenciamento ambiental realizadas na área de estudos iniciaram-se nos anos 2000. Para realização deste trabalho, a aluna teve acesso a investigações realizadas a partir de 2005. A seguir são apresentados os procedimentos realizados e resultados obtidos até então, com enfoque no histórico de resultados para metais. A análise de histórico dá destaque também aos critérios de confiabilidade dos dados (disponibilização de documentos originais, realização de procedimentos de controle de qualidade, metodologia de amostragem), e aos métodos analíticos utilizados em cada campanha, de forma a avaliar se a comparação dos dados anteriores com os resultados atuais é válida.

O histórico de resultados para compostos orgânicos não será abordado, uma vez que o enfoque deste Trabalho de Formatura está no diagnóstico de contaminação por metais na área.

Investigação Ambiental e Análise de Risco (2005)

Neste trabalho foram realizadas 05 sondagens na área de estudos, instalados 05 poços de monitoramento e coletadas 05 amostras de água subterrânea. Foram analisadas concentrações dos seguintes elementos em solo e água subterrânea (metais totais): Al, Ar, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, V, Zn. A coleta das amostras de água foi realizada com *bailer* descartável. Não foram realizados procedimentos de controle de amostragem e controle de qualidade. Não foi encontrada referência ao método analítico utilizado para as análises de metais em solo e água subterrânea. As análises foram realizadas em laboratório próprio da consultoria ambiental.

Quanto aos resultados, foram quantificados os seguintes metais em amostras de solo: Al, Ar, Ba, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag e Zn. Foram quantificados os seguintes elementos em amostras de água subterrânea: Al, Ar, Pb, Cu, Fe, Mn, Ag, Ni e Zn. Em água subterrânea, observou-se concentrações acima dos limites máximos permitidos na época para Al, Pb, Fe, Mn e Ni (comparados aos Valores Orientadores dispostos em CETESB (2005), vigentes à época em que foi realizado este trabalho pela consultoria ambiental.

Avaliação Geoambiental Confirmatória – Fase II (2009)

Neste trabalho foram executadas 15 sondagens com instalação de 09 poços de monitoramento. A amostragem de água subterrânea foi realizada pelo método de baixa vazão. Foram analisadas as concentrações em amostras de solo e água subterrânea (metais totais) dos seguintes elementos em solo e água subterrânea: Al, Ba, Cd, Pb, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni e Zn. Os métodos analíticos empregados não foram informados e os laudos das análises não foram disponibilizados junto com o relatório. Foram realizadas análises de branco como controle de qualidade, entretanto não houve réplicas. Os elementos Sb, Ar, B, Co, Cu, Mo, Ag, Se, e V, de interesse para este trabalho, não foram analisados.

Foram detectadas concentrações de Al, Ba, Pb, Cr, Fe, Hg, Ni, e Zn em amostras de solo e água subterrânea em quase todas as amostras analisadas. Foram detectadas concentrações de Cr em solo acima do Valor de Intervenção para solo em cenário residencial (CETESB, 2005), vigentes à época em que foi realizado este trabalho pela consultoria ambiental, em três pontos, Zn em três pontos e Ni em dois pontos. Quanto às análises de metais em água, foi detectada concentração de Pb acima dos valores orientadores em duas amostras.

Relatório de Investigação Ambiental em Área de Aterro (2011)

Neste trabalho foram executadas 50 sondagens e instalação de 50 poços de monitoramento. Foram realizadas análises de metais em 47 amostras de solo e análise de metais totais e dissolvidos em 50 amostras de água subterrânea. A amostragem de água

subterrânea foi realizada pelo método de baixa vazão. O método analítico utilizado para análise de metais foram: USEPA 7473 (USEPA, 2007) para Hg e USEPA 6010C (USEPA, 2010) para os demais elementos. Foram analisados os seguintes elementos: Al, Sb, Ar, Ba, B, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, V e Zn. Quanto aos procedimentos para controle de qualidade, foram realizados brancos de campo, brancos de equipamento e amostras duplicatas.

Nos resultados de solo, foram detectadas concentrações acima dos padrões de referência adotados para os elementos: Mo (4 pontos), Cr (4 pontos) e Ni (1 ponto). Para os resultados de água subterrânea, foram detectadas concentrações acima dos padrões de referência utilizados pela consultoria (CONAMA, 2009) para os seguintes metais: Al total (5 pontos), Al dissolvido (1 ponto), Ba total (1 ponto), B total e dissolvido (1 ponto), Pb total (18 pontos), Cr total e dissolvido (1 ponto), Fe total (17 pontos), Fe dissolvido (2 pontos), Mn total (24 pontos), Mn dissolvido (21 pontos), Mo total (11 pontos), Mo dissolvido (10 pontos), (Ni total (1 ponto), V total (1 ponto).

Campanha de Investigação Ambiental e Monitoramento Hidroquímico (2014)

Neste trabalho não foram realizadas sondagens para análise de solo. Foram realizadas análises para concentrações de metais dissolvidos em 50 amostras de água subterrânea. Foram analisadas as concentrações dos seguintes elementos: Al, Sb, Ar, Ba, B, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, V e Zn. A amostragem de água subterrânea foi realizada pelo método de baixa vazão segundo e contou com procedimentos de controle de qualidade tais como realização de brancos de campo, brancos de equipamento e amostras duplicatas. Os métodos analíticos utilizados pelo laboratório foram: “POP ME.089 Rev03 “para Hg e “POP ME.088 Rev04” para os demais metais analisados, entretanto, embora assim citados em relatório a aluna não encontrou referências a tais metodologias na literatura. Foram detectados os seguintes elementos: Al, Ba, B, Fe, Mn, Mo e V.

Os resultados indicaram concentrações acima dos padrões de referência (CONAMA, 2009) adotados pela consultoria que realizou o trabalho de Fe dissolvido em 10 pontos e Mn dissolvido em 22 pontos, Mo dissolvido em 14 pontos e B dissolvido em um ponto.

Investigação Detalhada, Análise de Risco à Saúde Humana e Plano de Intervenção (2015)

O objetivo deste trabalho foi continuar o gerenciamento ambiental da área através de uma investigação detalhada para de determinar as concentrações de substâncias potencialmente nocivas e sua interação com os receptores mais próximos (córrego e bairros residenciais), identificação dos potenciais marcos tipos dos resíduos depositados, coleta de amostras de resíduos e avaliação da água superficial do córrego.

Foram executadas 65 sondagens investigativas com até 10,0 metros de profundidade, com espaçamento de 50 metros entre cada ponto. Em todos os pontos foram realizadas análises de metais amostras de solo subsuperficial (0,5 m de profundidade). Foram coletadas 05 amostras indeformadas de solo para determinação dos índices físicos e físico químicos do solo. Umidade, porosidades total e efetiva, granulometria e densidade específica. Foram instalados 20 poços de monitoramento. Amostragem de água subterrânea por método de baixa vazão foi realizada nos 57 poços existentes e em boas condições para análise de metais dissolvidos e outros contaminantes orgânicos. Foi realizado o levantamento topográfico georreferenciado (*Datum* SIRGAS 2000) das sondagens e poços de monitoramento. No Anexo I é apresentado o mapa de localização das sondagens realizadas no ano de 2015.

Os métodos analíticos utilizados foram: USEPA-1631E (USEPA, 2002) para análise de Hg e USEPA 6010C (USEPA, 2007) para as demais análises de metais.

Foram detectadas de concentrações de metais (Cr, Ni) em solo acima dos valores de intervenção para o cenário industrial de (CETESB, 2016). Em água subterrânea foram detectadas concentrações acima do valor de intervenção da Resolução CONAMA 420/2009 dos metais dissolvidos Al, Fe, Mn e Mo.

O parecer do órgão ambiental a respeito dos trabalhos realizados, emitido em julho de 2016, solicitou que:

- a) Nos estudos posteriores fossem analisadas concentrações de metais totais em água subterrânea, e não dissolvidos, incluindo alumínio, ferro e manganês.
- b) As concentrações de metais obtidas nas amostras de solo fossem comparadas também aos valores de referência residenciais, não aos valores apenas industriais.
- c) Fosse realizada nova investigação para atualização do cenário.

No contexto da continuidade das atividades de gerenciamento ambiental da área, estão sendo desenvolvidas as atividades deste trabalho de formatura.

5.2. Tratamento de dados anteriores

5.2.1. Avaliação dos teores de metais em amostras de solo de área com aterro e sem aterro

Inicialmente executou-se o tratamento dos dados do trabalho executado na área de estudo em 2015. Com base nas descrições de sondagem, as 66 amostras de solo subsuperficial, para análise de metais, foram divididas em dois grupos (Tabela 2). Os resultados completos das análises químicas realizadas para metais em solo encontram-se no Anexo II. Optou-se por considerar para esta análise apenas as sondagens realizadas em 2015, pois, nesta campanha, a delimitação e separação da área com aterro, em três dimensões, foi um dos objetivos principais.

O primeiro agrupou as amostras descritas como solo de alteração de rocha – SAR. Trata-se de material proveniente predominantemente da alteração de gnaisses, uma vez

que o topo rochoso se encontra a poucos metros de profundidade. Sedimento argilo arenoso de coloração marrom escura com presença de minerais micáceos. Salienta-se aqui que é possível que estas amostras não sejam compostas apenas por solo de alteração de rocha, no entanto esta descrição, feita à época, indica que não haviam indícios de resíduos nestas amostras. Total de 11 amostras.

O segundo agrupou as amostras provenientes do aterro. Trata-se de um sedimento predominantemente silto arenoso com resíduos de construção civil e escória. Total de 55 amostras. Estes resíduos eram compostos principalmente de material de construção civil, seguido de escória de aciaria, resíduos de refratário, lama e pó coletor de alto forno, lama de estação de tratamento de efluentes químicos, lama de aciaria e lama e borra de alcatrão. Trata-se de um material disposto em células, de forma heterogênea, entre camadas de solo.

Tabela 02: Grupos definidos para caracterização do material de sondagem.

Grupo	Número de Amostras	Descrição
1	11	Solo de alteração de rocha, silto arenoso.
2	55	Sedimento predominantemente silto arenoso com resíduos de construção civil e escória.

Os dados de concentrações de metais em solo, obtidos na campanha realizada em 2015, foram organizados em formato de gráficos do tipo *box plot*, para cada um dos metais quantificados na área de estudo. Foi confeccionado um *box plot* para cada grupo de amostras (SAR e aterro). Os gráficos são apresentados nas Figuras 4 a 9. Salienta-se aqui que tal divisão pode não ser exata, pois foi realizada com base nas descrições de sondagens e está sujeita a erros de descrição e interpretação. Entretanto, considerou-se que o número total de sondagens (66) garante representatividade estatística para a divisão e caracterização.

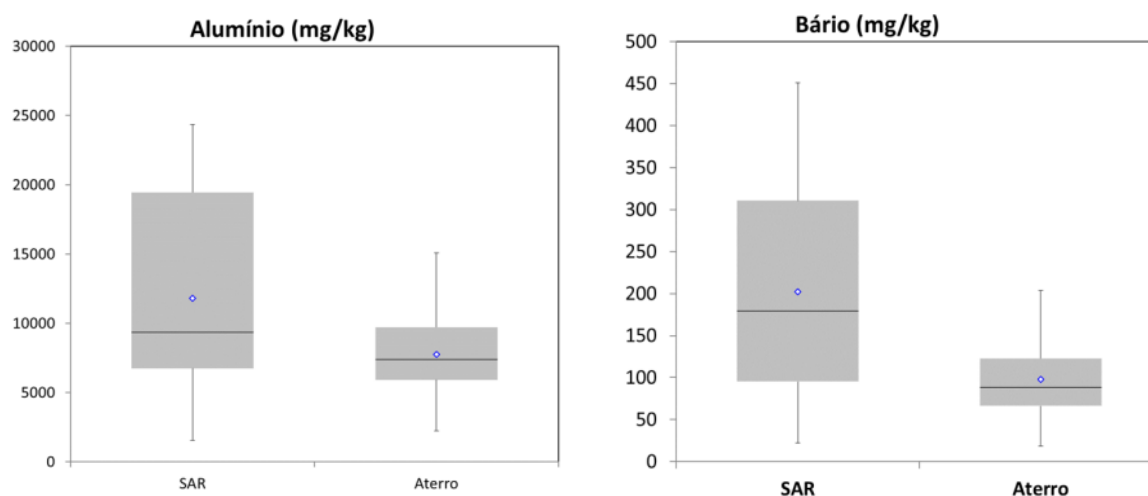
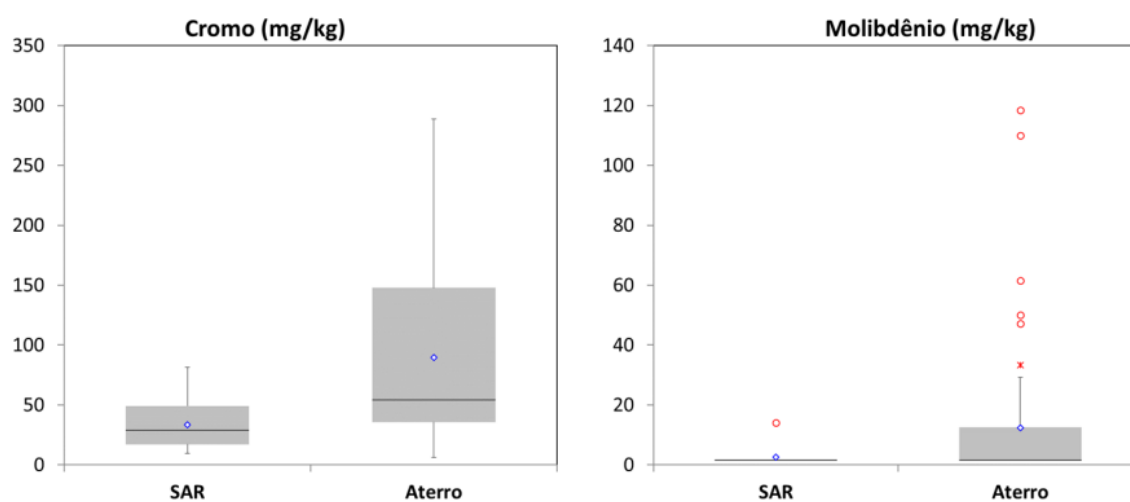
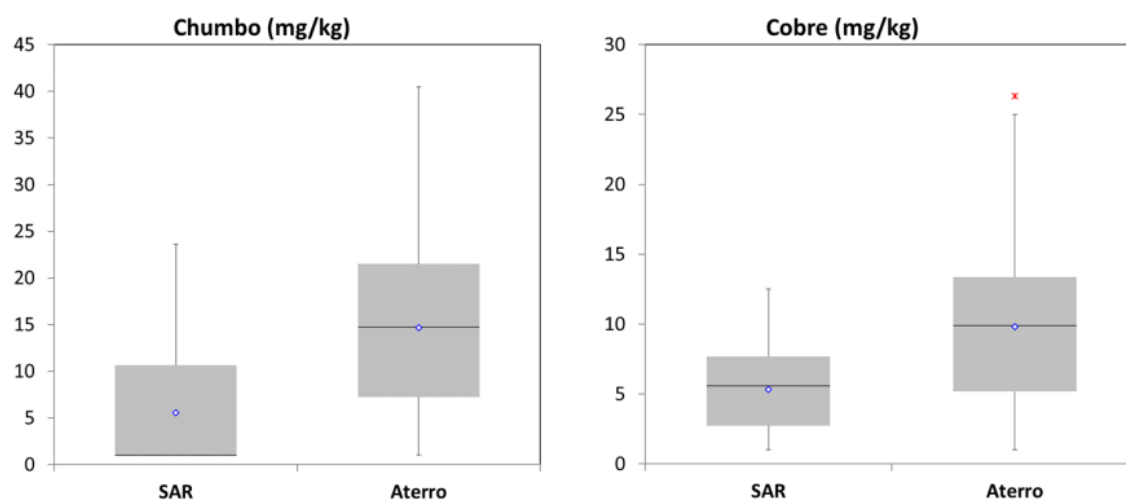
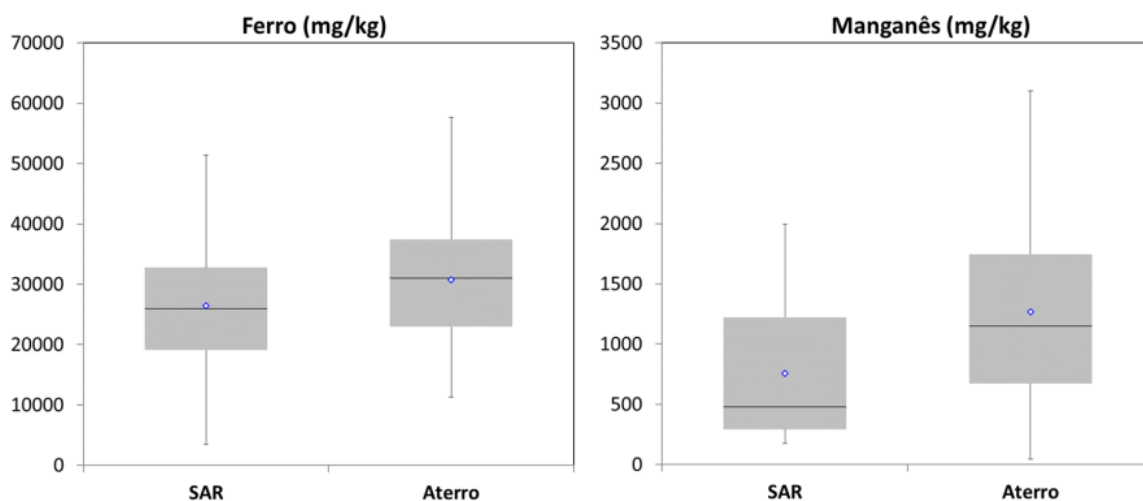


Figura 4 – Gráficos do tipo box plot para comparação de concentrações de Al e Ba em grupos de amostras de solo (mg/kg).



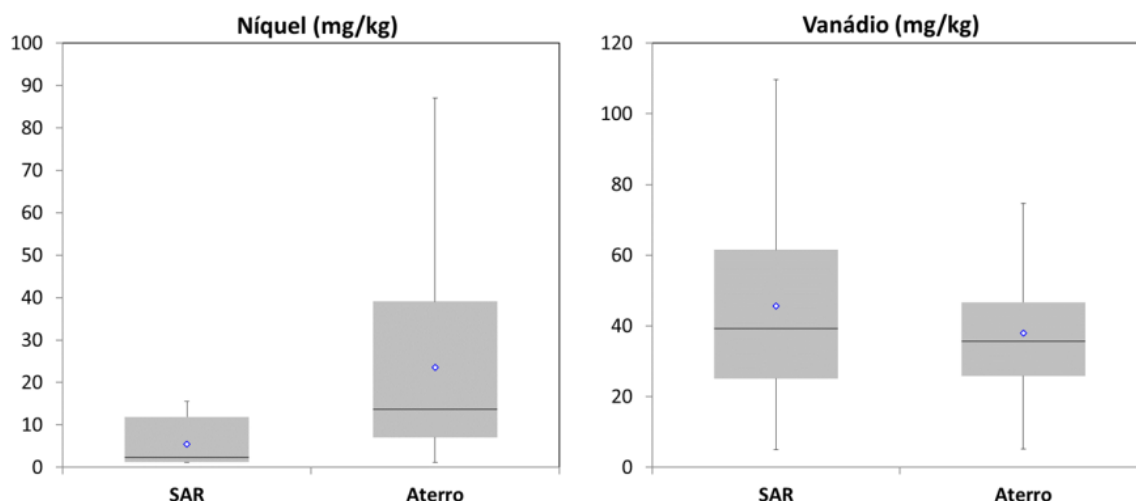


Figura 8 - Gráficos do tipo *box plot* para comparação de concentrações de Ni e V em grupos de amostras de solo (mg/kg).

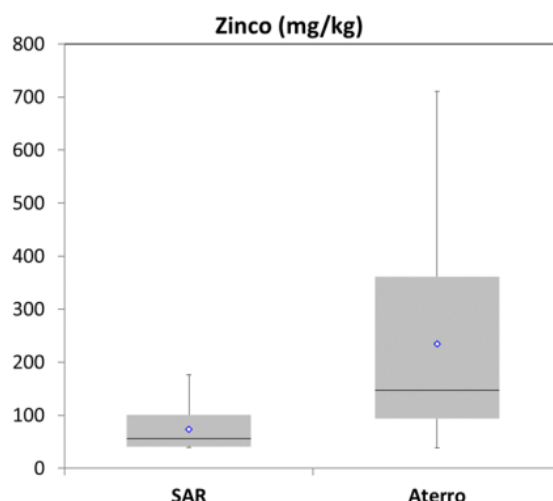


Figura 9 - Gráficos do tipo *box plot* para comparação de concentrações de Zn em grupos de amostras de solo (mg/kg).

5.2.2. Evolução das concentrações de metais dissolvidos em água subterrânea

Com base nos dados disponíveis de campanhas anteriores, foi realizado um estudo de evolução das concentrações de metais dissolvidos em água subterrânea. Para tal, foram considerados os estudos realizados a partir de 2010. Os estudos anteriores a 2010, conforme descritos na seção 5.1.3, foram desconsiderados devido a imprecisões metodológicas e diferenças nos métodos analíticos, e também devido à descontinuidade de poços amostrados. Os estudos realizados a partir de 2010, após a Resolução CONAMA 420/2009. Apresentaram maior uniformidade metodológica, tanto para coleta e preservação de amostras quanto para método de análise química realizada.

Os gráficos de evolução foram confeccionados para 12 poços, sendo estes os que foram amostrados em todos os trabalhos executados a partir de 2010. São eles os seguintes: PM-023, PM-024, PM-038, PM-039, PM-042, PM-044, PM-045, PM-048, PM-049, PM-052, PM-063 e PM-064. Além das concentrações de metais dissolvidos, os gráficos

exibem também o nível d'água aferido no poço quando realizada a coleta de água subterrânea. Para confecção dos gráficos, os resultados de concentrações inferiores aos limites de quantificação foram substituídos por 5. Os resultados analíticos e dados de coleta que subsidiaram a construção dos gráficos encontram-se no Anexo VI.

A campanha de 2010 foi realizada no mês de novembro, correspondente ao início do período chuvoso do ano hidrológico. As campanhas de 2014 e 2015 foram realizadas nos meses de junho e julho, respectivamente, correspondentes à estação seca do ano hidrológico. Espera-se, então, que o nível da água mensurado em 2010 seja mais elevado que o das duas campanhas posteriores. Para melhor descrever a hidrologia local, é apresentado também um gráfico de índice de precipitação mensal. Os dados foram obtidos através de uma estação meteorológica automática, localizada a cerca de 50 km da área de estudos, de propriedade do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf).

O gráfico (Figura 10) contempla os dados mensais de precipitação no período de janeiro de 2010 a setembro de 2018, não havia informação disponível sobre a precipitação nos meses de janeiro e fevereiro de 2013 e janeiro de 2014. No gráfico estão inseridas também as informações de nível d'água mensurado nos poços selecionados para análise histórica. Segundo o INMET, uma estação meteorológica de superfície automática é composta de uma unidade de memória central, ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos, que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora. A partir do gráfico é possível observar índices de precipitação maiores no período de outubro a março, corresponde à estação úmida do ano hidrológico. A coleta de 2010, realizada na estação úmida, apresenta níveis d'água em geral mais elevados que as campanhas posteriores, realizadas todas durante a estação seca.

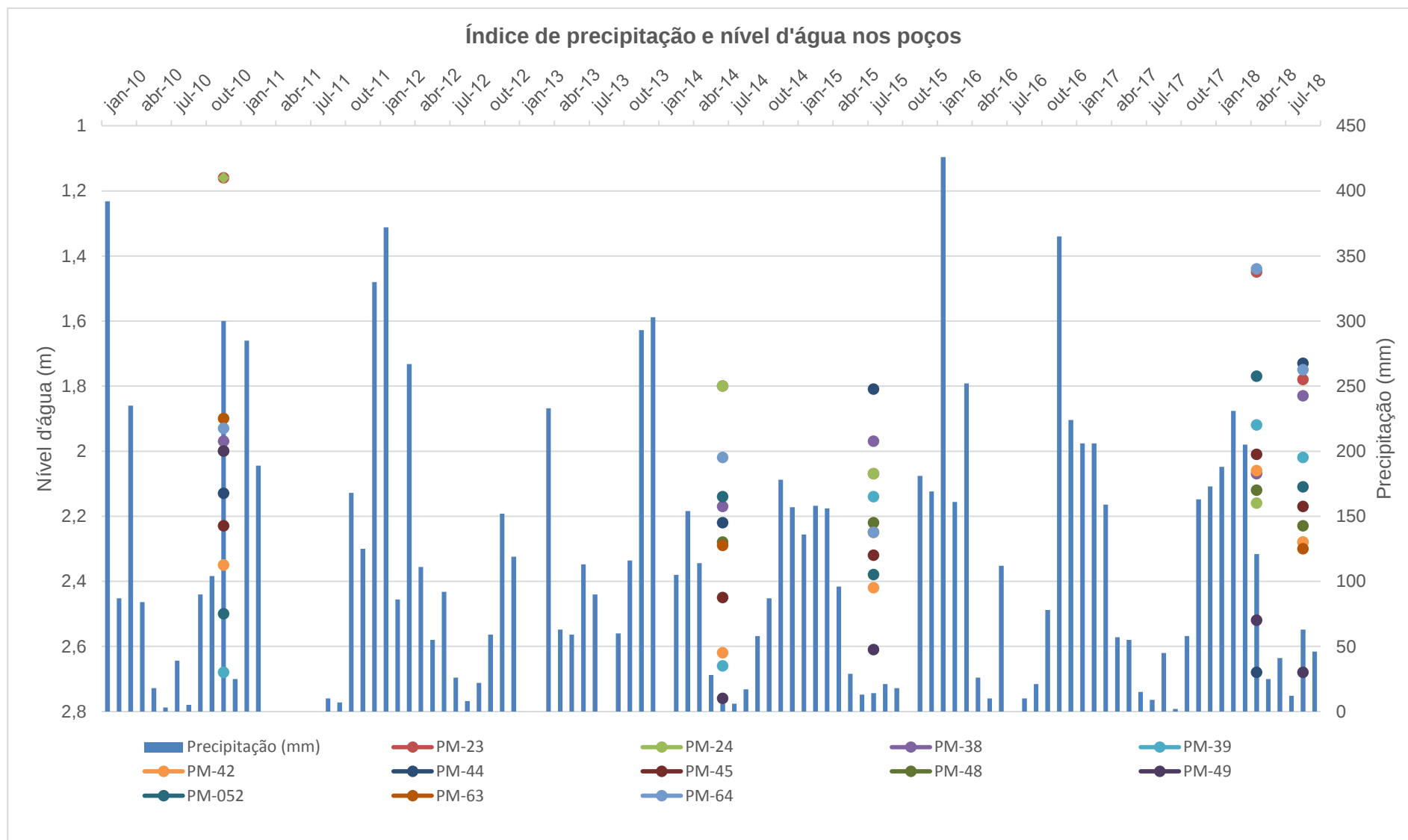


Figura 10 – Índice de precipitação mensal no período de janeiro de 2010 a setembro de 2018 e níveis d'água mensurados no período.

Poço PM-23 (Figura 11): localizado no extremo sul da área de estudo, é o poço mais a montante da área de aterro instalado na área de estudo. Apresenta concentrações de metais dissolvidos inferiores a 100 µg/L para todos os metais dissolvidos detectados. Observa-se possível correlação entre o rebaixamento do nível d'água e a diminuição das concentrações de metais dissolvidos (Ba, B, Fe, Mn).

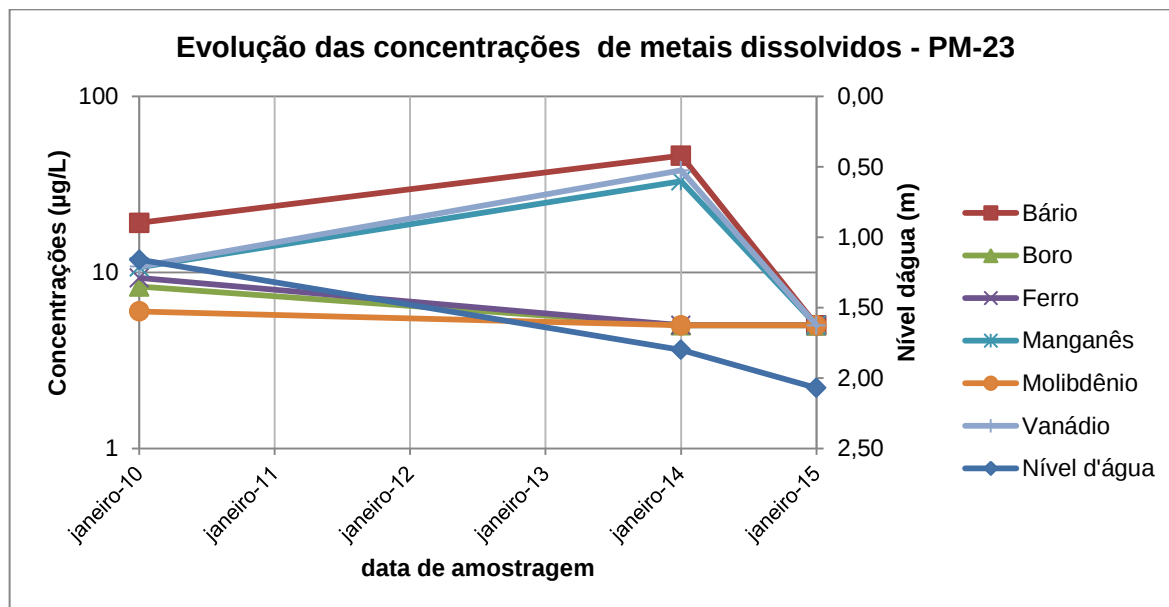


Figura 11 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-23.

Poço PM-24 (figura 12): Localizado próximo à margem esquerda da drenagem, na porção sudoeste da área. Apresentou elevadas concentrações Fe em 2014 (8280 µg/L), e elevadas concentrações de Mn, acima da do VI da Resolução CONAMA 420/2009, nas três campanhas analisadas. O metal zinco foi detectado apenas na campanha de 2015 e o Mo apenas em 2010. As concentrações de Fe, Ba, Mn e Zn aumentaram ao longo do tempo.

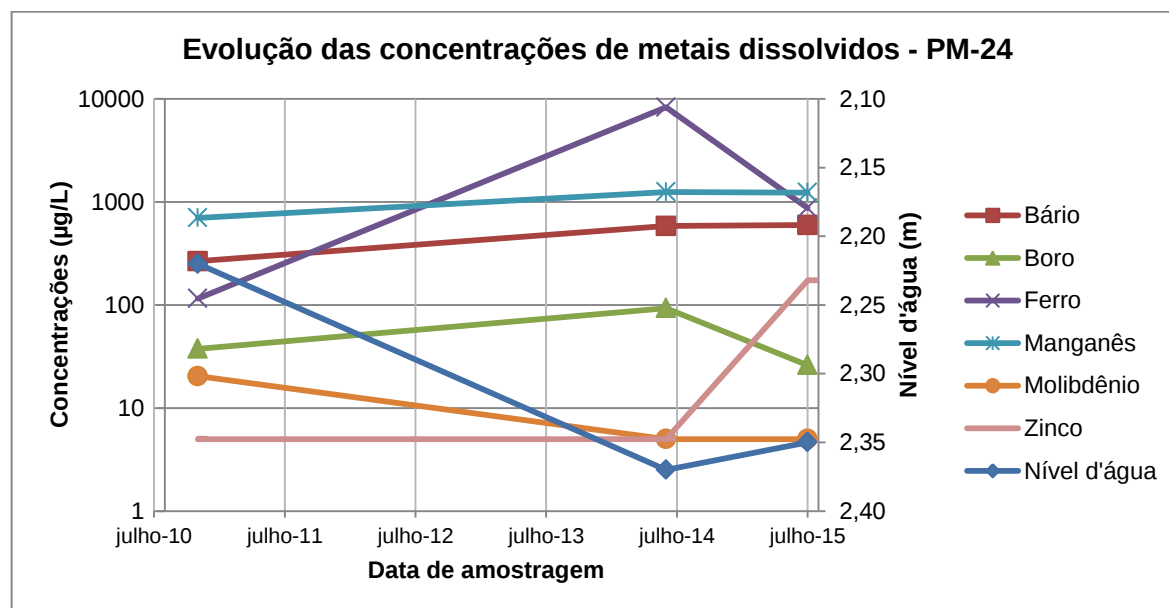


Figura 12 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-24.

Poço PM-38 (figura 13): Localizado próximo à margem esquerda da drenagem, na porção central da área. Apresentou concentrações inferiores a 1000 µg/L para todos os compostos. As concentrações permaneceram aproximadamente estáveis entre as campanhas de 2010 e 2011 para todos os compostos. Em 2015, as concentrações de Ba e Mn aumentaram e a dos demais metais diminuiu: Al, Fe e V não foram detectados acima dos limites de quantificação. Parece haver correlação entre as concentrações de Mn e a variação no nível d'água.

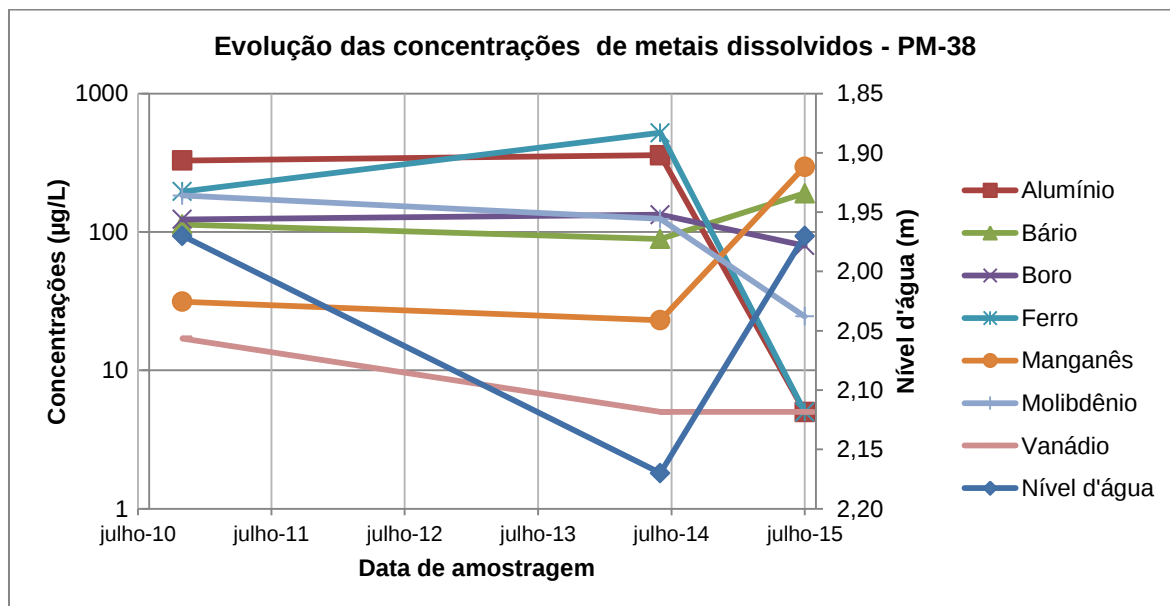


Figura 13 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-38.

Poço PM-39 (Figura 14): Localizado próximo à margem esquerda da drenagem, cerca de 70m a jusante do PM-023. As concentrações de Mn permaneceram relativamente estáveis, acima do VI, nas três campanhas. As de Ba também estáveis. Concentrações de Bo, Fe, Al, Mn e Zn com tendência de diminuição.

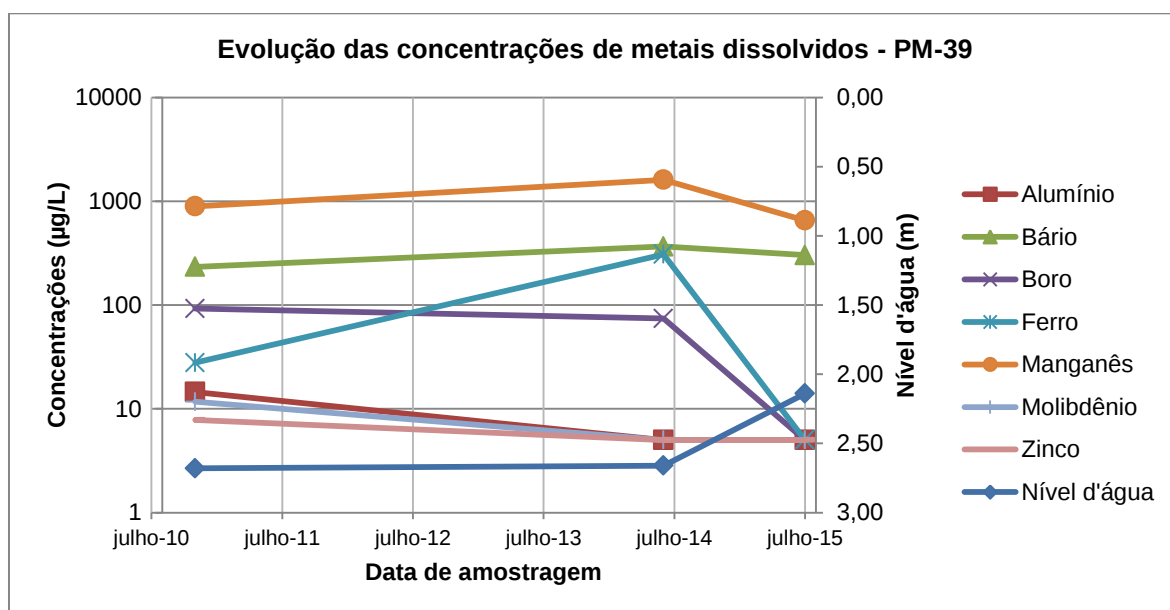


Figura 14 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-38.

Poço PM-42 (Figura 15): Localizado próximo à margem noroeste do terreno, fronteira com bairro residencial. As concentrações de Mn e Bo permaneceram relativamente estáveis, com leve tendência de alta. A concentração de Mo esteve mais elevada a cada campanha, ultrapassando o VI (70 µg/L) em 2014 e 2015. Al detectado em concentrações muito baixas e apenas na campanha de 2014. Parece haver correlação entre a variação do nível d'água e a variação dos teores de Fe e Mn

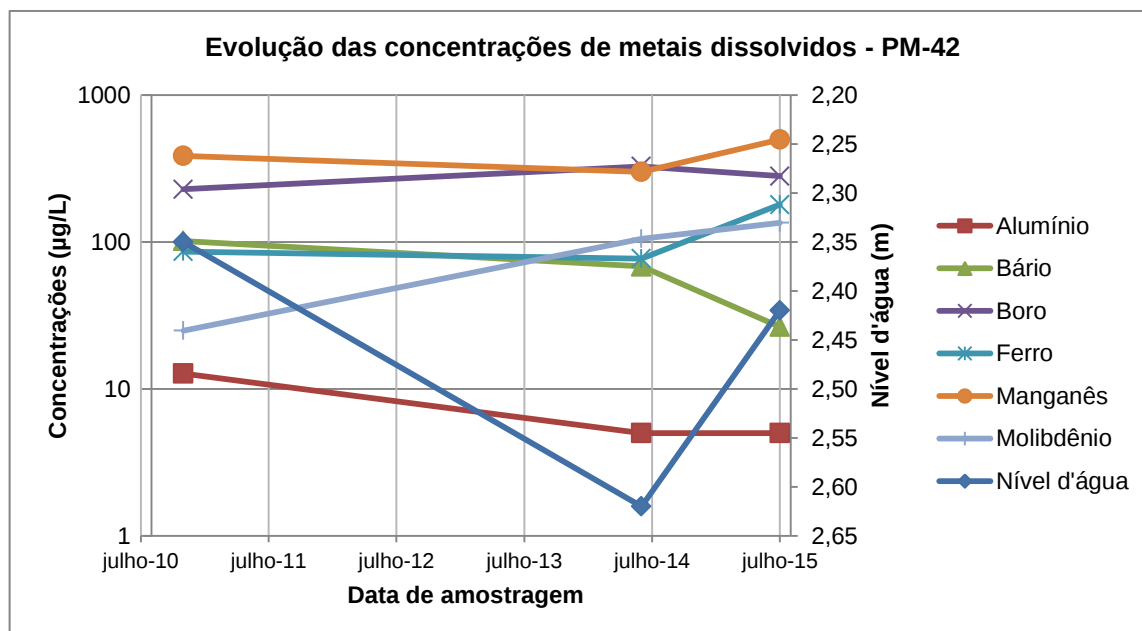


Figura 15 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-42.

Poço PM-44 (Figura 16): Localizado próximo à margem esquerda da drenagem, na porção noroeste da área. Todos os elementos detectados apresentaram tendência de queda, com exceção do molibdênio, que apresentou aumento constante e ficou acima do VI (70 µg/L) em 2014 e 2015. A concentração de Mn esteve acima do VI em 2010.

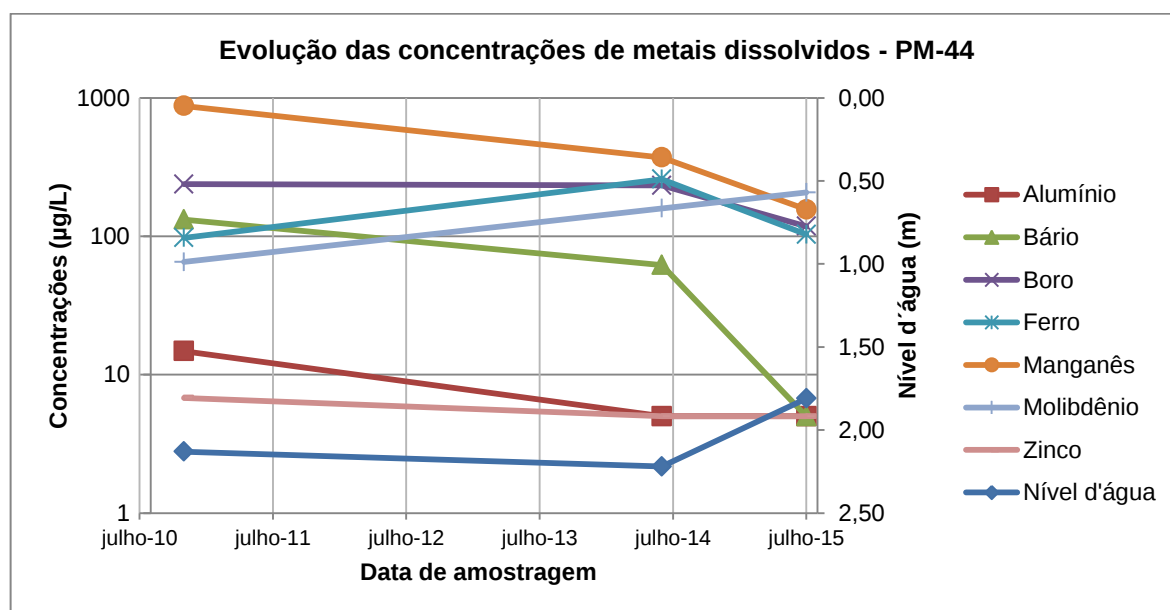


Figura 16 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-44.

Poço PM-45 (Figura 17): Localizado cerca de 20 metros a montante do PM-42. Apresentou concentrações relativamente constantes de Al, Bo e Fe. As concentrações de Mo, inferiores aos limites de detecção de 2010, elevaram-se ficando acima do VI em 2014 e 2015. As concentrações de Ba decresceram.

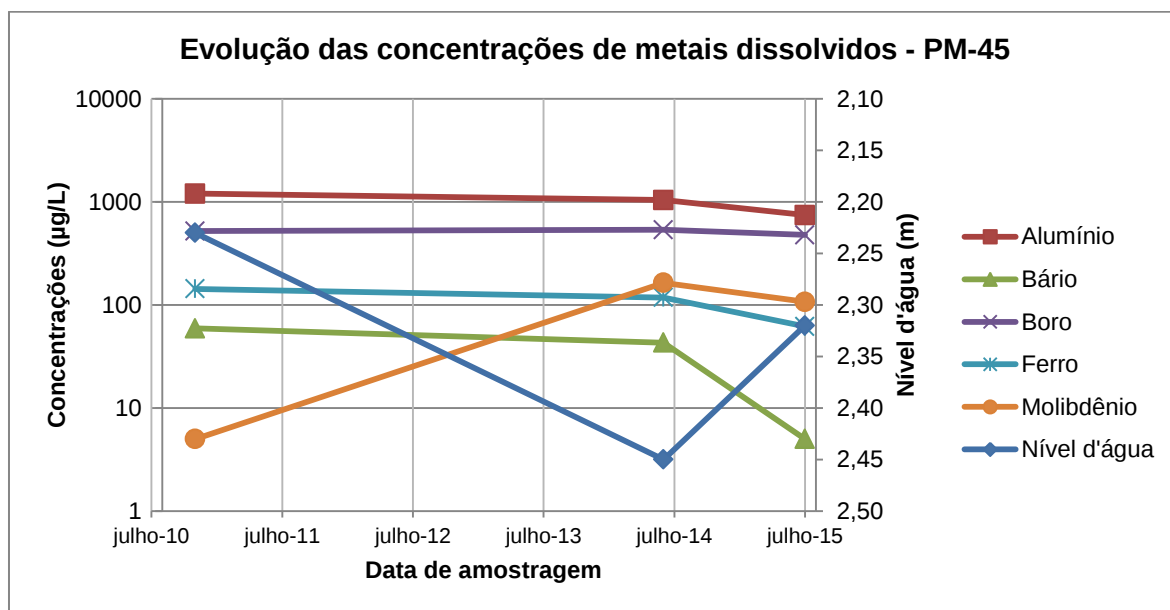


Figura 17– Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-45.

Poço PM-48 (Figura 18): Localizado cerca de 20 metros a montante do PM-42. Apresentou concentrações relativamente constantes de Al, Bo e Fe. As concentrações de Mo, inferiores aos limites de detecção de 2010, elevaram-se ficando acima do VI em 2014 e 2015. As concentrações de Ba decresceram.

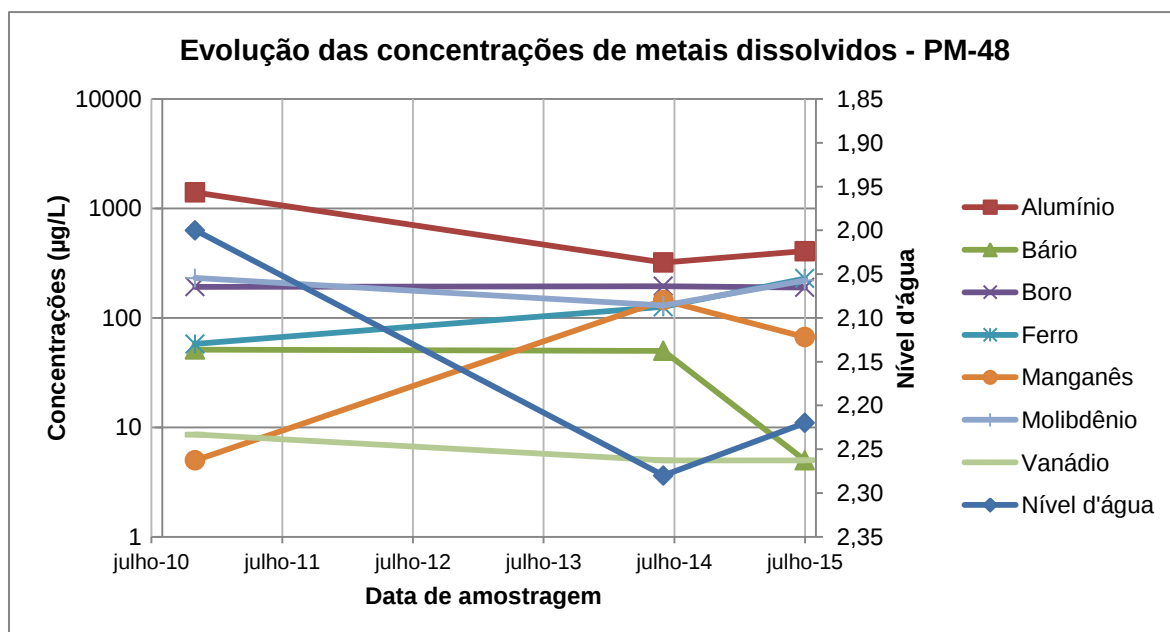


Figura 18 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-48.

Poço PM-49 (Figura 19): Localizado na ponta noroeste, mais a jusante do terreno, fora da área com resíduos aterrados. Apresentou concentrações de Mn superiores ao VI em 2014. Al detectado, em concentrações muito baixas, apenas em 2010. Tendência geral das concentrações é decrescente, porém com um pico em 2014.

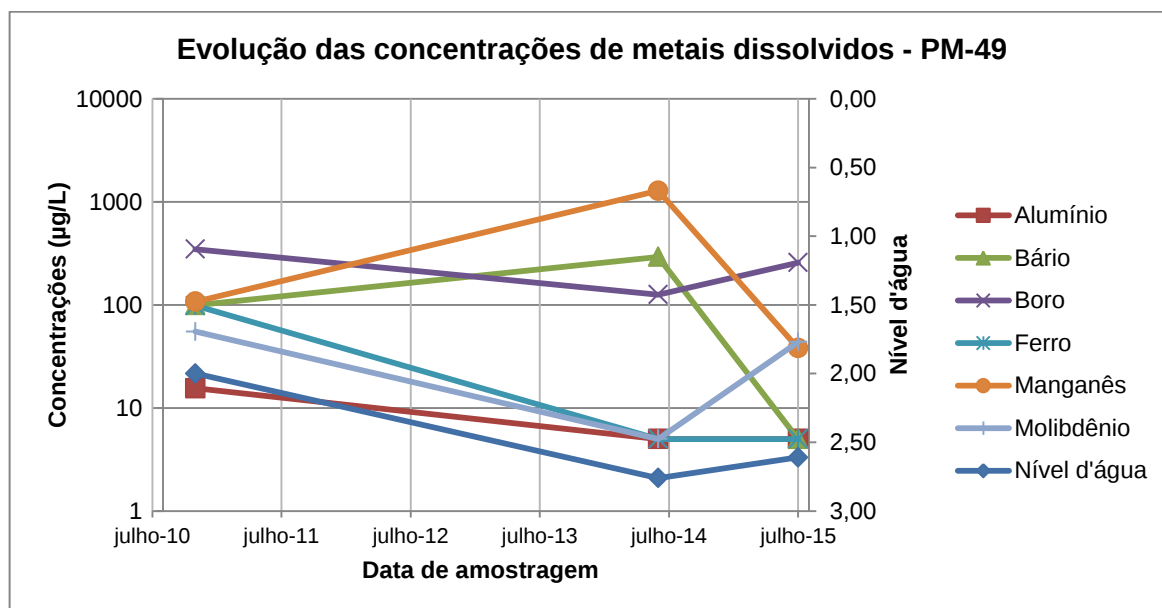


Figura 19 – Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-49.

Poço PM-52 (Figura 20): Localizado na porção central da área a leste da drenagem. Em 2010, apenas o metal arsênio foi detectado, sendo que este não foi detectado nas campanhas posteriores. Em 2014 e 2015 foram observadas concentrações de Fe e Mn elevadas, acima dos respectivos VI's. As concentrações de Fe foram superiores a 1000 µg/L. O Ba também foi observado em concentrações aproximadamente constantes em 2014 e 2015.

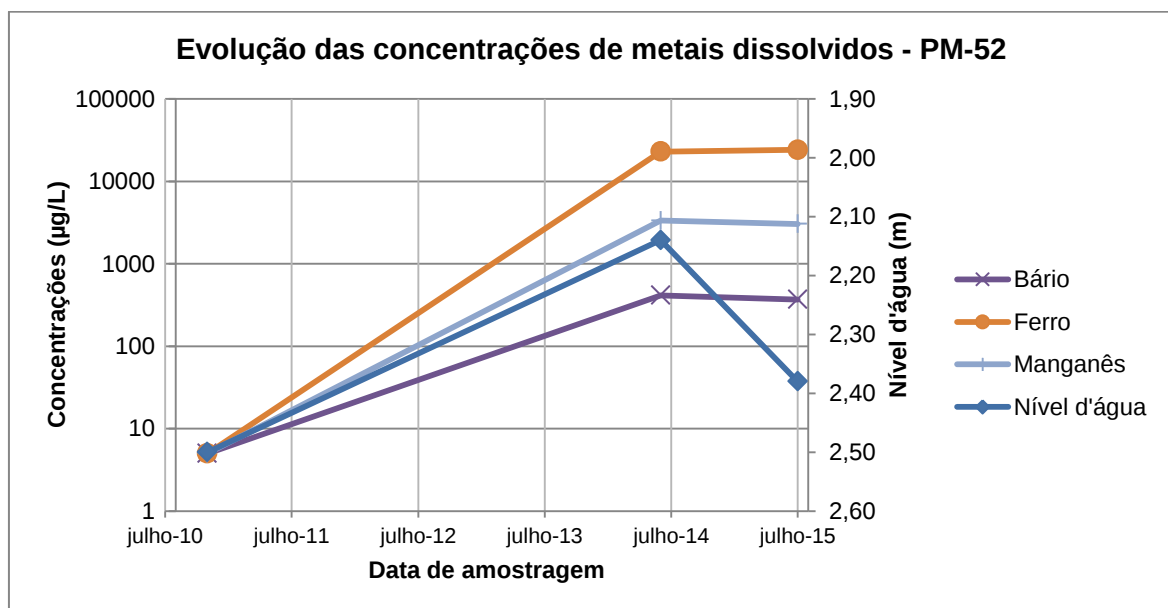


Figura 20 - Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-52.

Poço PM-63 (Figura 21): Localizado na porção central da área a oeste da drenagem. Foram observadas concentrações relativamente constantes de Al (da ordem de 2000 µg/L) e B (da ordem de 100 µg/L). As concentrações de Mo estiveram acima do Vi em todas as campanhas e elevaram-se de 79 µg/L em 2010 para 249 µg/L em 2015. As concentrações de Fe e Ba decresceram.

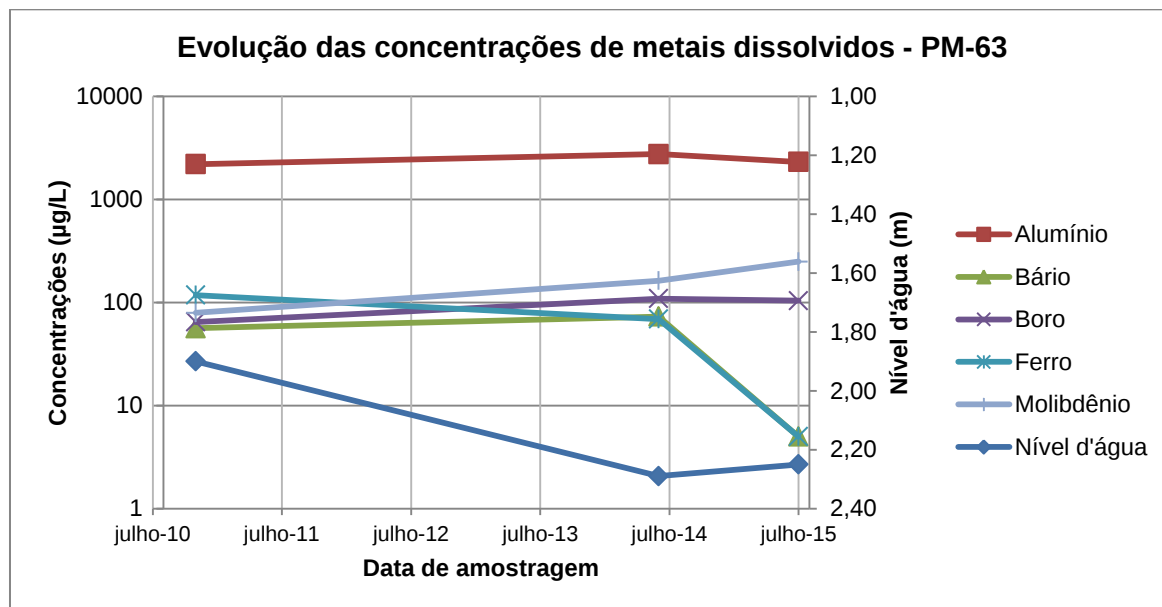


Figura 21 - Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-63.

Poço PM-64 (Figura 22): Localizado cerca de 20 metros a montante do poço PM-39, na porção central da área. Foram observadas crescentes de Mn ao longo do tempo, de 28,5 µg/L em 2010 a 1306 µg/L em 2015, ultrapassando o VI em 2014 e 2015. As concentrações de Mo também ultrapassaram o VI nas três campanhas analisadas. As concentrações de Al e Fe decresceram e as de Ba e B ficaram aproximadamente constantes. V foi detectado apenas em 2010.

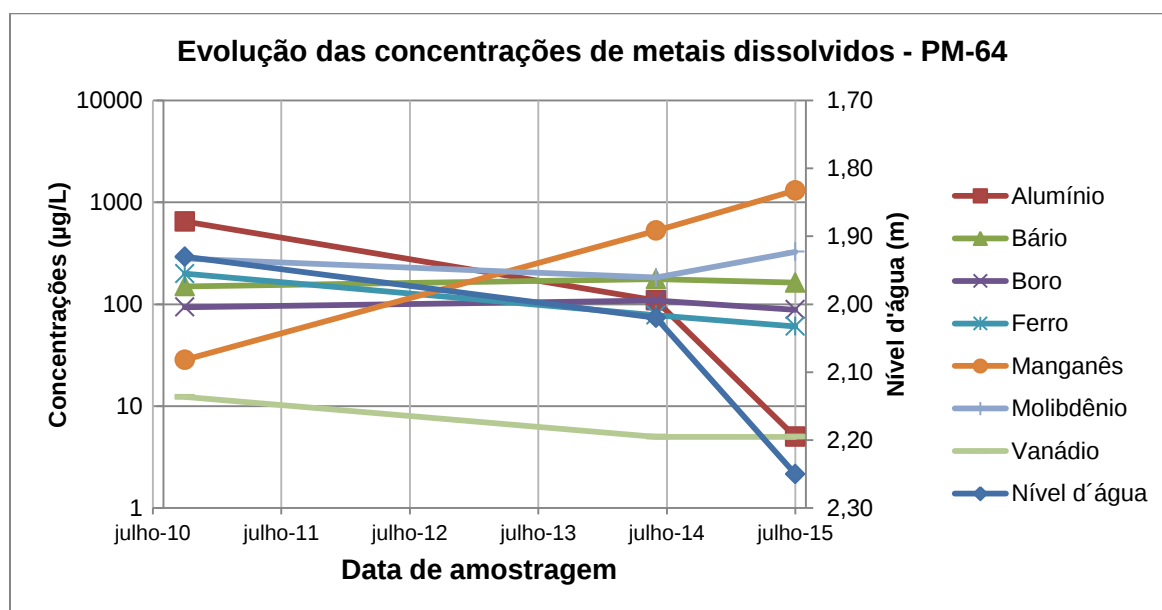


Figura 22 - Gráfico de evolução das concentrações de metais dissolvidos e variação do nível d'água no poço PM-64.

5.3. Plano de amostragem e perfuração

No dia 25 de abril foi realizada uma visita na área de estudo por um técnico da empresa. Foi levantada a situação de todos os poços de monitoramento existentes na área. Foi medido o nível d'água de todos os poços em condições para tal. Com base nisso e nos dados de topografia dos poços foi elaborado o mapa potenciométrico da área de estudos através da interpolação das cargas hidráulicas calculadas.

Dos 57 poços de monitoramento existentes na área em 2015, 08 estavam obstruídos e 07 não foram encontrados. Dos 42 poços remanescentes, foi elaborado plano de amostragem contemplando 25 poços (limitação de escopo do contrato). Os poços foram selecionados com base no histórico de contaminação e na representatividade espacial.

Também foi elaborado plano de perfuração prevendo a realização de 10 sondagens investigativas para atualização de cenário e 04 sondagens a montante da área de aterro para determinação de *background* de metais, em que também serão realizadas análises de extrato lixiviado. O mapa com poços amostrados e sondagens realizadas encontra-se no Anexo III.

Dos poços inicialmente selecionados para amostragem, os poços PM-43, PM-46, PM-58 e PM-73 não estavam em boas condições para amostragem (obstruídos ou secos) e foram substituídos pelos poços PM-39, PM-49, PM64A e PM-79.

5.4. Elaboração de mapa potenciométrico

Para conhecer as direções preferenciais de fluxo da água subterrânea, foi elaborado o mapa potenciométrico do aquífero raso (freático) presente na área.

Para se obter as cargas hidráulicas dos poços rasos utilizou-se os dados de nível d'água medidos durante a visita técnica. O nível d'água foi subtraído da cota da boca do tubo dos poços, obtida a partir do levantamento topográfico georreferenciado realizado em 2015. Os dados utilizados para confecção do mapa potenciométrico são apresentados na tabela 2. O mapa potenciométrico é apresentado no Anexo IV. As coordenadas cartográficas foram alteradas para preservar o sigilo da área de estudo, respeitando-se as distancias relativas entre os pontos.

Observou-se o nível da água variando entre 1,45 m e 4,86 m. Através do mapa potenciométrico elaborado, foi possível observar a direção preferencial de fluxo da água subterrânea confluindo de leste e de oeste em direção ao córrego que atravessa o centro da área de estudo. Caracterizando-o assim como zona de descarga do aquífero raso e potencial receptor ecológico para as substâncias lixiviadas a partir dos resíduos. Já os bairros residenciais presentes a leste e oeste da área estão à montante de acordo com as direções preferenciais de fluxo e possivelmente não estão na rota de difusão do material lixiviado.

Não foi possível determinar com precisão a cota dos pontos da drenagem que atravessa a área de estudo, de forma que o ponto onde as linhas equipotenciais cruzam a drenagem foi inferido.

Tabela 2: Coordenadas geográficas, cota altimétrica, nível d'água estático medido em campo e carga hidráulica calculada para os poços de monitoramento presentes na área de estudo.

Poço de Monitoramento	Coordenada x	Coordenada y	Altitude (m)	N.A. Estático (m)	Carga Hidráulica (m)
PM-22	194,84	122,59	375,501	1,61	373,891
PM-23	157,99	79,68	376,16	1,45	374,71
PM-24	200,56	168,88	375,539	2,16	373,379
PM-26	120,02	115,19	377,162	2,79	374,372
PM-27	60,86	153,35	377,494	3	374,494
PM-28	104,08	156,87	377,522	3,37	374,152
PM-29	54,87	186,7	377,073	1,91	375,163
PM-30	84,03	180,97	377,106	3,04	374,066
PM-31	150,81	180,45	376,472	2,52	373,952
PM-32	196,51	214,44	375,568	2,12	373,448
PM-34	94,25	226,6	375,447	2,25	373,197
PM-38	225,8	267,25	374,839	2,07	372,769
PM-39	233,89	335,92	374,921	1,92	373,001
PM-42	170,18	432,13	374,186	2,06	372,126
PM-43	195,41	414,23	373,99	1,74	372,25
PM-44	221,48	404,92	373,9	2,68	371,22
PM-45	202,45	441,16	374,106	2,01	372,096
PM-46	203,67	474,1	373,82	2,3	371,52
PM-48	236,28	487,86	373,608	2,12	371,488
PM-49	266,76	518,11	373,671	2,52	371,151
PM-51	269,04	399,22	374,809	2,48	372,329
PM-52	305,94	416,2	375,465	1,77	373,695
PM-58	407,79	495,37	379,823	3,72	376,103
PM-59	444,12	526,18	383,844	4,86	378,984
PM-64	212,44	315,45	374,683	1,44	373,243
PM-65	103,61	325,64	375,549	2,11	373,439
PM-71	381,96	472,36	377,949	1,26	376,689
PM-72	266,56	380,68	374,405	2,84	371,565
PM-73	229,07	355,36	374,281	1,56	372,721
PM-74	146,82	199,57	376,252	2,24	374,012
PM-75	104,48	307,45	375,545	2,63	372,915
PM-76	110,11	208,85	376,306	2,23	374,076
PM-77	422,54	385,31	380,682	3,41	377,272
PM-78	161,22	136,63	376,61	1,92	374,69

Legenda: N.A: nível d'água.

5.5. Amostragem de água subterrânea e aferição de parâmetros físico-químicos *in situ*

A seguir serão apresentadas, em formato de tabela, as características aferidas *in situ* durante a coleta de amostras de água subterrânea na área de estudos. Foram aferidas as seguintes características dos poços: profundidade, nível d'água estático (NE) e nível d'água estabilizado. Foram aferidos os seguintes parâmetros físico-químicos em amostras de água subterrânea: temperatura, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxirredução (ORP), turbidez e teor de oxigênio dissolvido. Cabe ressaltar que a medição de tais parâmetros é realizada em amostras não filtradas de água subterrânea.

Tabela 3: Parâmetros físico-químicos aferidos in situ e calculados

Poço de Monitoramento	NE (m)	T (°C)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	pH	ORP (mV)	Eh (V)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/L)
PM-23	1,78	23,79	727	7,87	-16,5	0,1775	4,53	3,6
PM-24	2,28	23,38	1187	7,26	-161,5	0,0325	1,4	2,31
PM-38	1,83	25,37	450	7,83	-136,4	0,0576	1,9	2,23
PM-39	2,02	24,56	760	7,42	-163,3	0,0307	1	2,25
PM-42	2,28	25,5	535	8,09	-117,8	0,0762	3,2	2,33
PM-44	1,73	21,62	340	8,36	193,2	0,3872	2,5	2,48
PM-45	2,17	25,2	627	10,76	-269,6	-0,0756	3,5	2,24
PM-48	2,23	24,49	331	6,94	-195,4	-0,0014	10	2,26
PM-49	2,68	24,58	464	8,28	-168	0,026	1,4	2,23
PM-52	2,11	25,96	747	6,82	-121,7	0,0723	3,6	2,66
PM-63	2,3	26,32	778	10,8	-118,5	0,0755	8	2,42
PM-64	1,75	22,92	728	7,68	-166,8	0,272	1,3	2,43
PM-64A	2,38	26,08	229	6,75	74	0,268	6,82	0,97
PM-70	2,83	27,4	158	6,15	118	0,312	9	3,17
PM-72	1,65	23,97	151	5,88	140	0,334	7,5	0,79
PM-72A	2,35	23,56	166	6,37	-64,1	0,1299	8	2,31
PM-73A	1,67	22,47	1001	7,02	-129,1	0,0649	6,8	2,4
PM-74	2,85	23,09	714	11,15	-231,6	-0,0376	10	2,28
PM-74A	2,81	25,23	742	7,4	-158	0,036	9	2,23
PM-75	2,59	24,93	495	8,98	-202,3	-0,0083	9,2	2,31
PM-76	2,9	13,15	597	9,78	-288	-0,094	8,4	2,24
PM-76A	3	23,44	816	7,28	-149,8	0,0442	8,6	2,38
PM-77	3,8	25,03	272	6,58	-105	0,089	8,5	2,25
PM-78	3	25,41	847	6,76	-102,7	0,0913	9	2,47
PM-79	3,3	24,1	315	6,49	-57,6	0,1364	8	2,56

T: temperatura; C.E.: Condutividade Elétrica, pH: Potencial Hidrogeniônico; ORP: Oxidation Reduction Potential; O.D.: Condutividade Elétrica.

Para descrever a variação dos parâmetros físico-químicos foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos: valor mínimo, média, mediana, valor máximo, desvio padrão e coeficiente de variação, apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4: Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos.

	T (°C)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	pH	ORP (mV)	Eh (V)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/L)
Mínimo	21,62	151,00	5,88	-288,00	-0,0940	1,00	0,79
Média	24,46	567,08	7,79	-103,94	0,0999	6,05	2,31
Mediana	24,56	597,00	7,40	-129,10	0,0723	7,50	2,31
Máximo	27,40	1187,00	11,15	193,20	0,3872	10,00	3,60
Desvio padrão	1,32	271,24	1,44	119,68	0,1241	3,12	0,52
Coeficiente de variação	0,05	0,48	0,19	-1,15	1,2425	0,52	0,23

T: temperatura; C.E.: condutividade elétrica, pH: potencial hidrogeniônico; ORP: oxidation reduction potential; O.D.: oxigênio dissolvido.

A temperatura da água subterrânea variou entre 21,62 °C no PM-44 e 27,4 °C, com média de 24,46 °C no poço PM-70, estando os valores em geral próximos à média, como indica o baixo coeficiente de variação (0,05).

A condutividade elétrica variou entre 151,00 a 1187,00. Este parâmetro está associado à quantidade de íons (ou sólidos totais dissolvidos) presentes na água subterrânea.

O potencial hidrogeniônico (pH) apresentou valor mínimo de 5,88 e valor máximo de 11,15, com média de 7,79. Estes resultados apontam um ambiente variando de levemente ácido a alcalino, com tendência predominantemente alcalina. Nos pares multiníveis PM-74 e PM-74A, PM-76 e PM-76A os poços de monitoramento no nível raso apresentaram PH bastante alcalino, enquanto os pares mais profundos apresentaram valores de pH mais próximos da neutralidade.

Os valores de ORP mensurados foram predominantemente negativos, com mínimo de -288,00, máximo de 193,20 e média de -103,94.

Os valores de oxigênio dissolvido mensurados foram ligeiramente elevados para água subterrânea, variando de 0,79 a 3,6 mg/L, com média de 2,31 mg/L.

A turbidez mensurada nas amostras foi baixa, inferior a 10 NTU em todos os poços de monitoramento amostrados.

Para verificar o estado de oxidação do meio e dos elementos de estudo na água subterrânea, os valores de pH e Eh mensurados nas amostras de água subterrânea foram plotados num diagrama de Pourbaix. Para obtenção dos valores de Eh, os valores de ORP mensurados em campo foram convertidos e corrigidos, de acordo com o modelo de eletrodo utilizado. No diagrama (Figura 23), é possível verificar que as amostras indicam a presença de um ambiente transicional a oxidante.

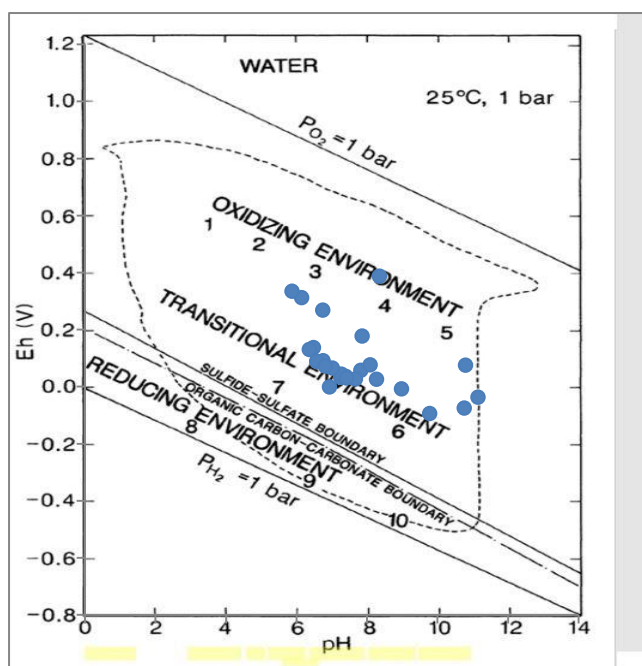


Figura 23 – Gráfico de estado de oxidação (Diagrama de Pourbaix) das amostras de água subterrânea.

5.6. Resultados analíticos em amostras de solo

Os resultados analíticos das amostras de solo coletadas para este trabalho não foram recebidos em tempo hábil para integrar este trabalho de formatura. A discussão de resultados e diagnóstico ambiental. Os resultados completos das análises químicas em amostras de solo estão apresentados no Anexo II (campanha de 2015) e Anexo V (campanha de 2011).

Foram detectadas concentrações dos seguintes elementos: Al, Ba, B, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni, V e Zn. Dos metais detectados, as concentrações ultrapassaram os respectivos valores de intervenção, para o cenário residencial, para Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo e Ni. O resumo dos resultados analíticos acima do valor de intervenção para análises de solo, separados por campanha e elemento químico, é apresentado na Tabela 5.

Com base na tabela é possível observar que as principais ocorrências de contaminantes metálicos são Cr e Mo. Os metais Pb, Cu, Hg e Ni apresentam ocorrências pontuais acima do Valor de Intervenção referenciado.

Tabela 5: Resultados analíticos acima do Valor de Intervenção (cenário residencial) observadas em análises de solo.

Elemento	VI Residencial	Amostras contaminadas - 2011	Amostras contaminadas - 2015
Pb	240,0 ¹	-	AS-24A (276,4)
Cu	2.100,0 ¹	-	AS-24A (2.511,2)
Cr	300,0 ¹	SD-13 (316,0), SD-24 (371,0), SD-28 (301,0), SD-33 (516,0), SD-34 (2.402,0), SD-39 (422,0), SD-42 (1.099,0).	AS-13A (869,0), AS-23A (410,5), AS-25A (453,6), AS-28A (762,9).
Hg	0,9 ¹	SD-40 (4,1)	-
Mo	29,0 ¹	SD-24 (36,0), SD-34 (175,0), SD-39 (43,0), SD-42 (231,0).	AS-13A (118,5), AS-23A (47,2), AS-25A (61,6), AS-28A (109,9), AS-44A (29,2), AS-52/PM-71 (50,1).
Ni	480,0 ¹	WAN/SD-34 (798,0)	-

Legenda: VI: Valor de Intervenção; ¹: VI residencial retirado de CETESB, 2016; ²: VI residencial retirado de USEPA, 2018.

O mapa com delimitação das ocorrências de metais em solo acima dos respectivos Valores de Intervenção é apresentado na Figura 24. No mapa pode-se observar que as ocorrências de concentrações de Cr e Mo acima do VI tendem a acontecer nas mesmas amostras, com maior ocorrência na margem oeste do rio, porção noroeste da área de estudos e na porção central da área a leste da drenagem.

O elemento Hg foi detectado acima do VI em apenas uma amostra (SD-40), localizada na porção nordeste da área de estudos, próxima ao limite da área. O Ni foi detectado acima do Valor de Intervenção em apenas uma amostra (SD-34), juntamente com Cr e Mo. Os elementos Pb e Cu foram detectados acima do Valor de Intervenção em apenas uma amostra (24A), localizada na porção noroeste da área de estudo.

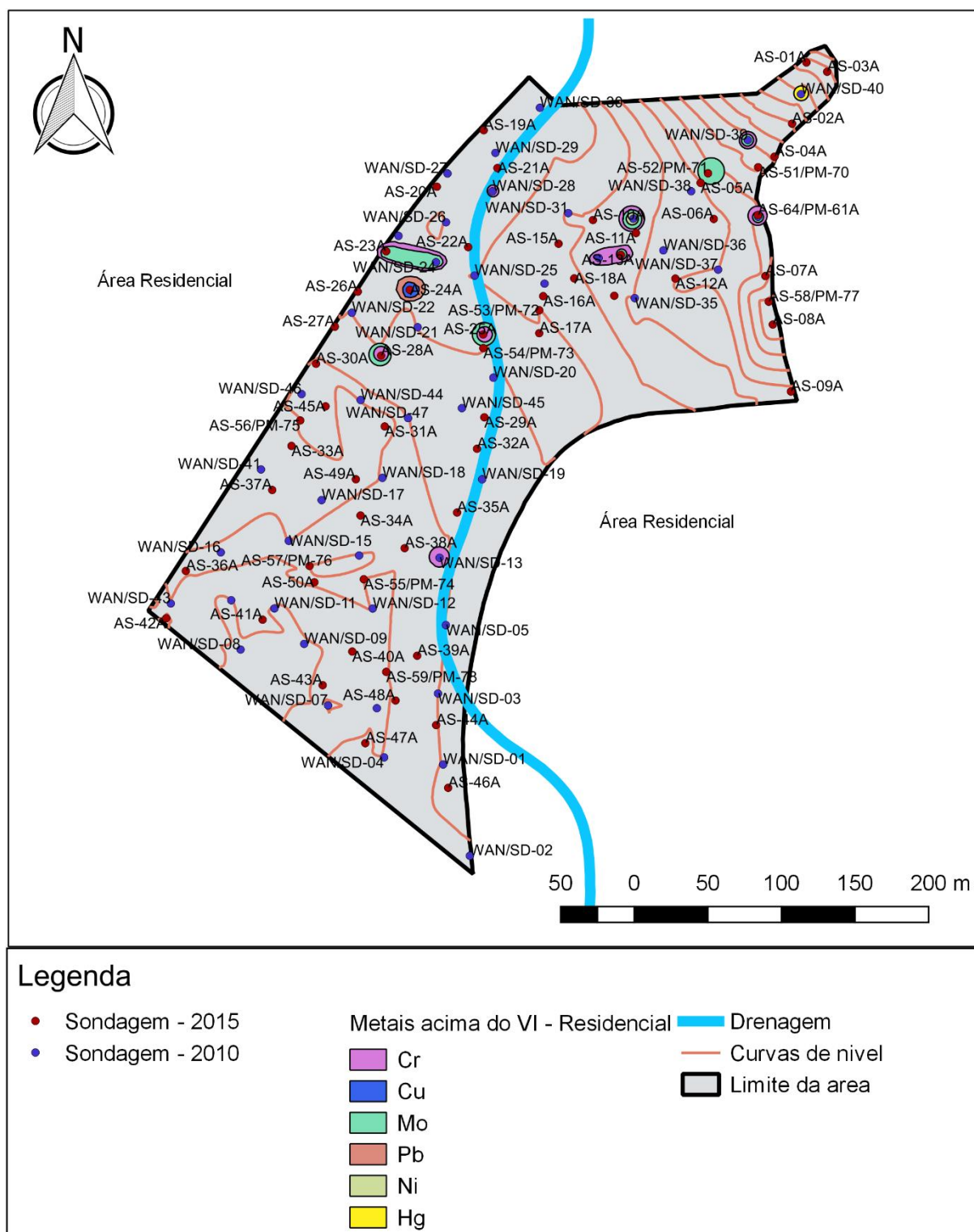


Figura 24 - Mapa de ocorrências de concentrações de metais acima do Valor de Intervenção em amostras de solo.

5.7. Resultados analíticos das amostras de água subterrânea

A seguir são apresentados os resultados analíticos de metais totais e dissolvidos das amostras de água subterrânea. Do total de 25 amostras enviadas ao laboratório, foram recebidos o resultado de 19 amostras. Não foram recebidos resultados para amostras de água dos seguintes poços: PM-44, PM-52, PM-64A, PM-72, PM-72A e PM-77. Os resultados analíticos completos se encontram no Anexo VII.

Na campanha atual foram detectados os seguintes elementos em água subterrânea: Al, Ba, Bo, Cu, Cr Fe, Mn, Mo, Ni Ag, Se e Zn. Os elementos que ultrapassaram o Valor de Intervenção foram: Cr, Fe, Mn, Mo, Ni e Ag. Os resultados que ultrapassaram os respectivos Valores de Intervenção, para concentrações de metais totais e dissolvidos, são apresentados na Tabela 6. Na tabela pode-se observar que os elementos Cr e Ni foram detectados acima do valor de intervenção apenas em amostras de metais totais (não filtradas). A aluna optou por usar os Valores Orientadores de CONAMA (2009) para delimitar as zonas de maiores concentrações de Fe e Mn, uma vez que CETESB (2016) não contém Valores Orientadores para estes elementos.

Tabela 6: Resultados analíticos acima do Valor de Intervenção observadas em análises de água subterrânea.

Elemento	VI	Metais Totais	Metais Dissolvidos
Cr	50,0 ¹	PM-23 (99,9); PM-24 (90,6); PM-49 (149,3); PM-48 (145,7); PM-70 (165,0); PM-63 (173,1); PM-75 (156,0); PM-78 (86,3)	-
Fe	2.450,0 ²	PM-24 (13350); PM-48 (3.499,0); PM-63 (2.595,0); PM-78 (12.630,0); PM-79 (9.541,0); PM-73A (12.040,0); PM-74A (4.934,0); PM-76A (4.626,0)	PM-24 (5.944,0); PM-78 (9.885,0); PM-79 (8.874,0); PM-73A (7.973,0); PM-76A (4.600,0)
Mn	400,0 ²	PM-24 (1.855,0); PM-38 (1.940,0); PM-64 (433,6); PM-39 (2.065,0); PM-78 (2.353,0); PM-79 (2.659,0); PM-73A (2.005,0); PM-74A (1.654,0); PM-76A (947,3)	PM-24 (1.208,0); PM-38 (1.940,0); PM-64 (404,0); PM-39 (1.952,0); PM-78 (2.353,0); PM-79 (2.659,0); PM-73A (1.940,0); PM-74A (1.654,0); PM-76A (940,0)
Mo	30,0 ¹	PM-38 (42,8); PM-42 (372,0); PM-45 (302,7); PM-49 (107,7); PM-48 (141,2); PM-63 (897,8); PM-64 (271,9); PM-74 (174,2); PM-75 (124,8); PM-76 (267,7); PM-73A (105,3)	PM-38 (43,0); PM-42 (372,0); PM-45 (37,0); PM-49 (110,0); PM-48 (70,0); PM-63 (940,0); PM-64 (270,0); PM-75 (122,0); PM-73A (53,0)
Ni	70,0 ¹	PM-49 (101,6); PM-48 (116,0); PM-70 (97,8); PM-63 (130,8); PM-74 (81,2); PM-75 (97,9)	-
Ag	50,0 ¹	PM-74 (87,8)	PM-74 (82,0)

Legenda: VI: Valor de Intervenção, ¹: Valor de Intervenção extraído de CETESB, 2016. ²: Valor de Intervenção extraído de CONAMA, 2009.

Para identificar as áreas de ocorrência de cada contaminante, foram confeccionados mapas de ocorrência de contaminação para metais totais e dissolvidos em água subterrânea. O mapa de concentrações acima do Valor de Intervenção para metais totais é apresentado na Figura 25. O mapa de concentrações acima do Valor de Intervenção para metais dissolvidos é apresentado na Figura 26.

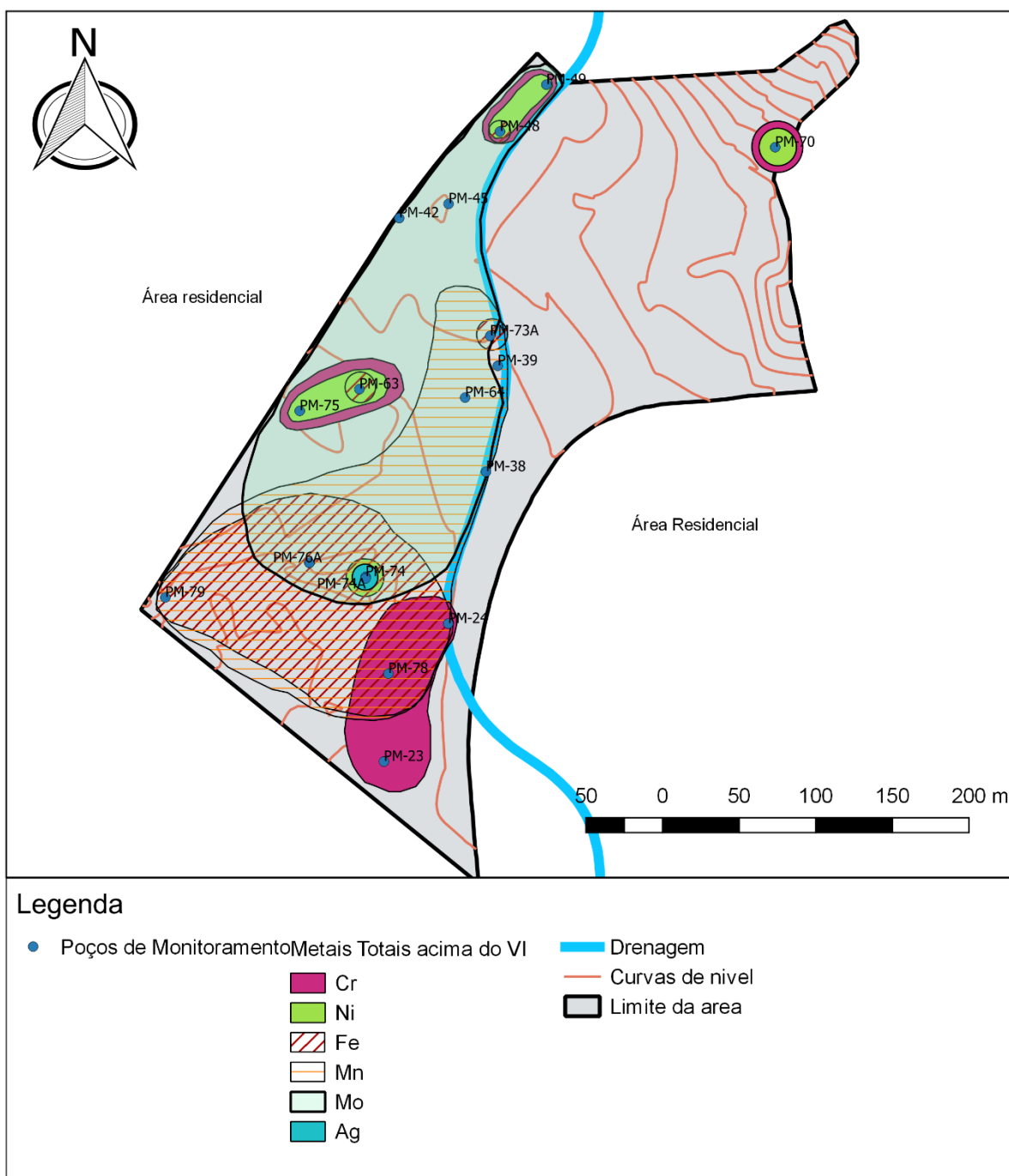


Figura 25 - Mapa de ocorrências de metais totais acima do valor de intervenção observadas em água subterrânea.

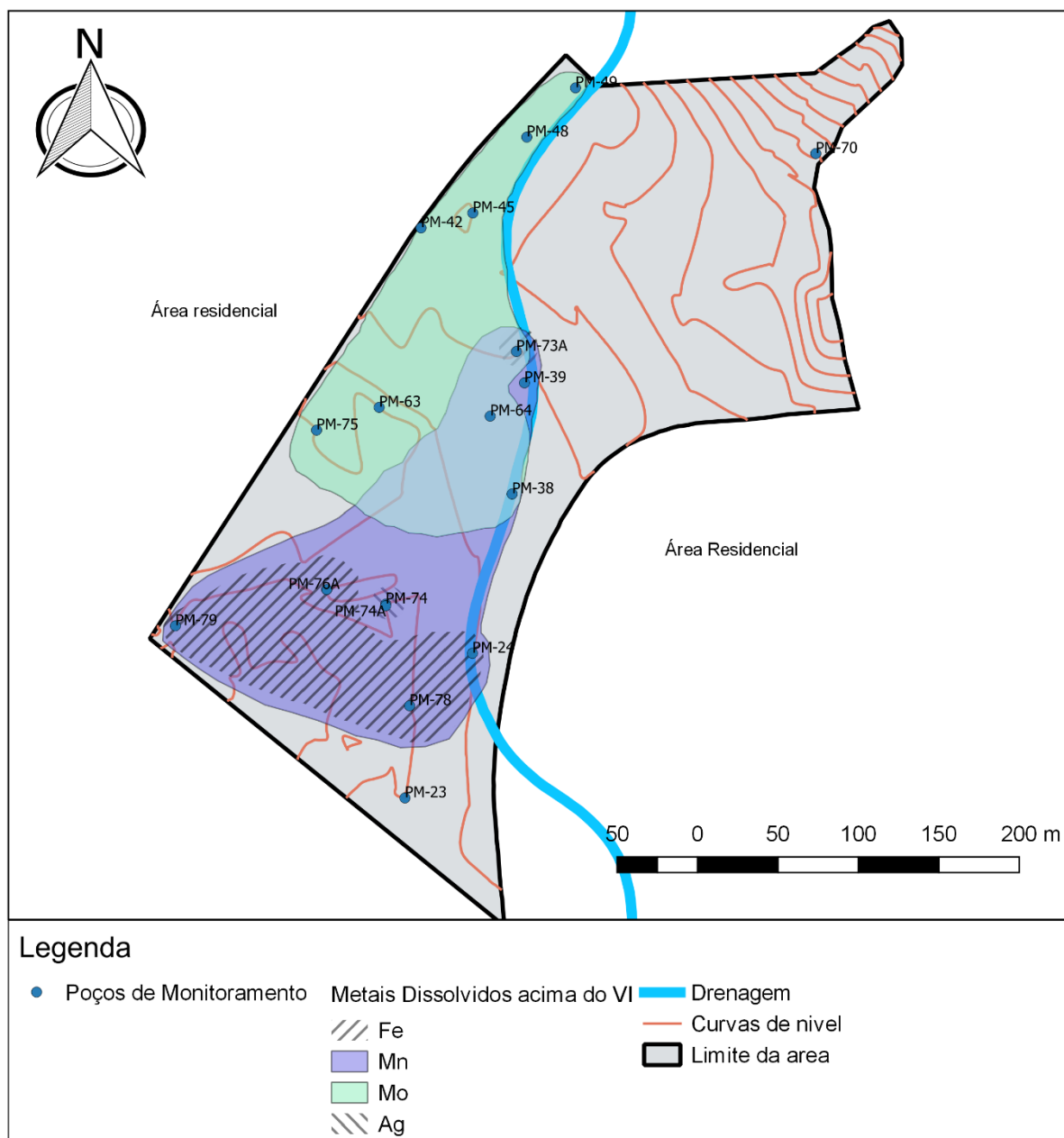


Figura 26 - Mapa de ocorrências de metais dissolvidos acima do Valor de Intervenção observadas em água subterrânea.

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Limitações da metodologia aplicada

Este trabalho de formatura baseou-se no estudo e compilação de dados comerciais obtidos através do trabalho de diversas consultorias ambientais no período de 2005 a 2018. Tais trabalhos adotaram metodologias diversas e executaram diferentes escopos. Como resultado, as diferenças nos resultados entre as diferentes campanhas podem não refletir necessariamente uma característica ou alteração do meio, mas sim diferenças resultantes do método de coleta e no procedimento de análise química utilizado pelo laboratório. A veracidade dos dados também está sujeita a falhas humanas que podem ter ocorrido em alguma etapa do processo de amostragem, análise química e tratamento dos dados por parte de outras consultorias.

6.2. Comparação das concentrações de metais em amostras de solo descrito como material do aterro e descrito como solo.

É possível observar, com base nos gráficos *box plot* apresentados na sessão 5.2.1, que o grupo de amostras descrito como SAR apresenta composição mais aluminosa e com maiores teores de Al, Ba e Co. Os teores médios observados para Ba estão acima do VP da CETESB e do VRQ para Co, entretanto não são altos o suficiente para caracterizar uma contaminação, de acordo com as legislações vigentes, pois não ultrapassam os valores de intervenção para nenhum cenário.

O material do aterro apresenta teores maiores de Fe e Mn na composição, também apresenta maiores concentrações de Cu, Cr, Pb, Mo, Ni e Zn. Os teores de Cr e Ni estão acima do VI industrial em 04 amostras.

Dentre as amostras da matriz aterro, também foram observadas concentrações de Mo acima do VI (29 mg/kg) para o cenário de ocupação residencial em 07 das 55 amostras analisadas. Foram observadas concentrações de Cr acima do VI (300 mg/kg) para cenário residencial em 04 das amostras, que também continham teores de Mo acima do VI. Foram observadas concentrações pontuais de Cu e Pb acima do VI na amostra AS-24.

Cabe ressaltar que, na campanha de 2015, foram observadas concentrações de Mo em água subterrânea acima do VI preconizado pela CETESB (30 µg/L) em 17 das 57 amostras analisadas, com concentrações máximas de 244 µg/L. A contaminação por Mo, na forma de concentrações acima dos valores de intervenção, já está caracterizada a partir dos dados de 2015 tanto em solo quanto em água subterrânea, o que indica que o Mo presente no material aterrado está sendo disponibilizado para a água subterrânea.

A análise estatística de concentrações de metais em resíduos, através de *box plots*, não é comumente utilizada nos trabalhos de diagnóstico de passivos realizados por consultorias ambientais. Entretanto, tal ferramenta se mostrou útil para diferenciar o perfil de materiais que apresentam característica visual e textural diversa. Através dos gráficos, foi possível identificar diferenças estatísticas nas concentrações de metais obtidas por extração parcial do solo com indício visual de contaminação por escórias e resíduos do solo sem tais indícios de contaminação. Tal ferramenta pode ser utilizada em estudos em que sejam realizadas análises em um número elevado de pontos, para que haja representatividade estatística.

6.3. Histórico de concentrações de metais totais e dissolvidos observados em água subterrânea

Para elaboração deste trabalho, foi permitido ao estagiário o acesso a resultados analíticos de campanhas de monitoramento de água subterrânea realizadas no período entre 2005 e 2015, não exatamente realizados pela empresa atual.

Ao longo dos trabalhos desenvolvidos na área, os metais detectados em água subterrânea foram: Al, Ar, Ba, B Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, V e Zn.

O elemento Al foi analisado e detectado em todas as campanhas realizadas, sendo mais frequente nas análises de metais totais. Este elemento não possui valor de intervenção regulamentado em CETESB (2016).

O elemento Ar foi detectado em concentrações superiores ao limite de detecção apenas em 2010, de forma pontual, em análises de metais totais e dissolvidos. Entretanto, as concentrações observadas não ultrapassaram o VI para nenhuma amostra.

O elemento Ba é detectado nas campanhas de 2009, 2011, 2014, 2015 e 2018 em um grande número de amostras. Entretanto, as concentrações observadas raramente ultrapassam o VI (700 µg/L). A concentração de Ba observada ultrapassou o VI em apenas um ponto, para análise em amostra não filtrada, em 2010. As concentrações observadas para este elemento parecem se manter constantes ao longo do tempo.

O B apresenta comportamento semelhante ao do Ba, sendo detectado em diversas amostras em todas as campanhas em que foi analisado, porém raramente ultrapassando o VI. Ambos os elementos (Ba e B), ocorrem na maior parte das amostras, de forma disseminada por toda a área de estudos, tanto na forma total quanto dissolvidos. Essa tendência se confirma na campanha atual.

O Pb é detectado principalmente na forma total, quase não sendo observado em análises de metais dissolvidos. Em 2005 foi realizada análise de metais totais, o Pb detectado acima do VI em uma amostra. Foi detectado também em 2009 em análise de metais totais. No trabalho realizado em 2010 foram analisados metais totais e dissolvidos, o Pb foi detectado acima do VI em 18 amostras para análise de metais totais e não foi sequer detectado em análises de metais dissolvidos. Em 2014 e 2015 foram realizadas apenas análises de metais dissolvidos, em que o chumbo de modo geral não aparece. Na campanha atual não foram observadas concentrações de Pb em análise de metais totais, o que pode ser considerado anômalo em relação ao histórico ambiental.

O elemento Cu foi detectado na forma total em 2005, abaixo do VI (CETESB, 2016). Não foi detectado em 2009. Em 2010 foi detectado em diversas amostras, porém em concentrações não superiores a 150 µg/L, consideravelmente abaixo do VI (2000 µg/L). As concentrações tendem a ser maiores em análises de metais totais. Em 2014 não foram detectadas concentrações de Cu. Em 2015 foram detectadas baixas concentrações em apenas duas amostras. Na campanha atual foram detectadas concentrações de Cu em diversas amostras, sempre abaixo do VI.

O elemento Cr foi detectado em 2009, em concentrações inferiores ao VI (CETESB, 2016). Em 2010 foi detectado em diversos pontos, porém a concentração observada ultrapassou o VI em apenas um ponto, cuja sondagem equivalente à instalação do poço (SD-34), também apresentou elevadas concentrações do elemento Cr. Em 2014, trabalho em que foi realizada apenas análise de metais dissolvidos, o Cr não foi detectado. Em 2015 foi detectado em poucas amostras, em concentrações sempre abaixo do VI. Na campanha

atual, foi detectado acima do VI em diversas amostras analisadas para metais total. O histórico indica que, assim como o Pb, o Cr está presente na área, porém não aparece em análises de metais dissolvidos.

Os elementos Fe e Mn foram detectados na maioria das amostras analisadas em todas as campanhas realizadas na área de estudos em concentrações aparentemente constantes que, quando comparadas aos VI's presentes em CONAMA (2009) ultrapassam tal valor em diversas amostras analisadas. Entretanto, tais elementos são de ocorrência comum em águas subterrâneas e CETESB (2016), referência principal deste trabalho de formatura, não estabelece valores orientadores para que tais elementos sejam considerados como contaminantes em solo ou água subterrânea. Desconsiderando-os assim, para fins de diagnóstico ambiental.

O elemento Hg foi detectado de forma esparsa apenas em 2009 e 2010, em análises de metais totais e em concentrações inferiores ao VI.

O elemento Mo não foi detectado nas análises realizadas em 2005 e não foi analisado em 2009. Em 2010, foi detectado em diversas amostras, na forma total e dissolvido e ultrapassou o VI para águas subterrâneas em 11 pontos. Em 2014 e 2015, o Mo foi detectado em diversas amostras analisadas apenas para metais dissolvidos, comumente em concentrações superiores ao VI. Na campanha atual, o Mo ultrapassou o VI em 17 das 19 amostras analisadas. A maior concentração foi obtida no PM-63, com 897,8 µg/L, maior concentração observada até então. Observou-se que, de um modo geral, a tendência é que as concentrações de Mo se mantenham constantes ou aumentem.

O elemento Ni foi detectado acima do VI em uma amostra em 2005 em análise de metais totais. Em 2009, foi detectado em diversas amostras (análise de metais totais), porém nenhuma concentração observada ultrapassou o VI. Em 2010, foi detectado em cerca de metade das 50 amostras analisadas, em concentrações em geral inferiores a 10 µg/L, o VI foi ultrapassado em apenas uma amostra. Em 2014, o elemento Ni não foi detectado. Em 2015 foi detectado em apenas um ponto, abaixo do VI atual. Em 2018, o Ni foi detectado em 17 das 19 amostras analisadas, um aumento expressivo de ocorrência tanto na análise de metais totais quanto de metais dissolvidos. As concentrações ultrapassaram o VI em 6 pontos, apenas para metais totais.

O elemento Ag foi detectado na campanha atual em uma amostra, em concentrações acima do VI, tanto em análise de metais totais quanto em análise de metais dissolvidos. Entretanto, tal elemento não havia sido sequer detectado em água subterrânea em nenhuma das campanhas anteriores, o que indica que pode se tratar de um falso positivo, ou de uma ocorrência bastante incomum.

O V não foi detectado em 2005 e 2009, porém foi detectado em 34 pontos em 2010 e 2 pontos em 2014 e 03 pontos em 2015. Na campanha atual, o elemento V não foi

detectado em amostras de água subterrânea. Não há VI nacional estabelecido para este elemento.

O Zn foi detectado em 2005, 2009 e 2010 em diversas amostras, sem ultrapassar o VI estabelecido. Em 2014, o elemento não foi sequer detectado, o que pode ser considerado anômalo para a área. Em 2015, o Zn foi detectado em três amostras de água subterrânea, em concentrações abaixo do VI. Na campanha atual, foi detectado em todas as amostras de água subterrânea, em concentrações inferiores ao VI.

As análises gráficas de evolução de concentrações de metais dissolvidos, apresentadas na sessão 5.2.2, foram realizadas para um total de 12 poços, em campanhas de realizadas em novembro de 2010, junho de 2014 e julho de 2015. Com base em tais gráficos, é possível perceber que, de modo geral, as concentrações de metais dissolvidos observadas em 2014 são similares ou levemente inferiores às concentrações detectadas em 2010. Já de 2014 para 2015, a tendência geral foi de queda nas concentrações.

De acordo com a análise de histórico, os principais elementos metálicos que aparecem na área, acima do VI são: Pb, Cr, Mo e Ni. Os elementos Pb e o Cr aparecem acima do VI apenas quando são analisadas concentrações de metais totais, em amostras não filtradas. Os elementos Ba e B são de ocorrência muito comum na área, entretanto em concentrações inferiores aos valores de intervenção estabelecidos.

6.4. Comparação da concentração de metais em água subterrânea com as concentrações observadas em solo

Com base nas análises de concentrações de metais em solo obtidos através das campanhas de 2010 e 2015, foi possível observar que na área de estudos as análises de solo apresentam concentrações dos seguintes elementos: Al, Ba, B, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, V e Zn. Cabe ressaltar que, destes elementos, o B e o Hg foram observados apenas nas análises químicas realizadas em 2010.

Dos elementos citados, apenas o Co não é observado em amostras de água subterrânea. De acordo com a análise de concentrações em água subterrânea realizada na sessão anterior, os elementos Al, Ba, B, Fe, Mn e Zn são de ocorrência bastante disseminada, sendo detectados na maioria das amostras de água subterrânea analisadas. Os elementos Pb, Cu, Cr, Mo e Ni também são de ocorrência disseminada, entretanto menos que o grupo anteriormente citado. Já os elementos Hg e V são de ocorrência esparsa, possuindo provavelmente a menor mobilidade para água subterrânea.

Não foram detectadas concentrações de Ag em nenhuma das amostras de solo analisadas, entretanto, tal elemento foi detectado em uma amostra da campanha atual, em concentrações acima do VI, não tendo sido detectada em nenhuma das campanhas anteriores. Tal observação com a hipótese de tratar-se de um falso positivo.

Tais observações indicam que todos os metais observados acima do VI em água subterrânea estão sendo disponibilizados através do próprio material do aterro, podendo ser

oriundos dos resíduos propriamente ditos ou do solo utilizado para aterramento, sem indícios visuais de contaminação.

6.5. Diagnóstico ambiental

Com base nos resultados de anos anteriores para análises de solo e água subterrânea e nos resultados atuais para água subterrânea é possível concluir que os principais elementos que aparecem na área de estudos, acima dos Valores de Intervenção são Cr e Mo.

São observadas concentrações acima dos respectivos valores de intervenção (CETESB, 2016) de para a matriz solo (cenário residencial): Cr, Cu, Mo, Pb, Ni, Hg.

São observadas concentrações dos seguintes metais totais acima dos respectivos valores de intervenção (CETESB, 2016) em amostras de água subterrânea: Pb, Cr, Mo, Ni e Ag.

São observadas concentrações dos seguintes metais dissolvidos acima dos respectivos valores de intervenção (CETESB, 2016): Mo e Ag.

Todos os elementos observados em concentrações acima do VI na água subterrânea, com exceção do elemento Ag que foi detectada apenas em uma amostra de todas as análises já realizadas até então, são observados acima do VI também em amostras de solo quando comparadas ao cenário de ocupação residencial.

A legislação vigente não deixa claro se os valores de intervenção definidos para metais em água subterrânea se aplicam à análise de metais totais ou dissolvidos. O que gera uma heterogeneidade nos procedimentos executados por consultorias ambientais, que por vezes analisam uma forma, por vezes outras, por vezes ambas.

O estudo evidenciou que alguns metais presentes na água subterrânea da área de estudos ultrapassam o VI apenas quando analisados em amostras não filtradas, ou seja, não estão dissolvidos na água subterrânea.

Com base na discussão acima, pode-se concluir que área se encontra contaminada por Pb, Cr, Mo e Ni na matriz água subterrânea e Cr, Cu, Mo, Pb, Ni e Hg na matriz solo. Há suspeita de contaminação por Ag, porém não confirmada.

Os elementos Al, Fe e Mn, são observados em diversas amostras de solo e água subterrânea, porém não possuem valores orientadores estabelecidos (CETESB, 2016) para caracteriza-los como contaminação.

Os elementos Ba, B, Co, V e Zn são observados no solo e na água subterrânea da área de estudos, porém em concentrações que não ultrapassam os Valores Orientadores (CETESB, 2016) e não caracterizam, assim, uma contaminação ambiental.

6.6. Modelo conceitual da área

A seguir será apresentada a discussão integrada de todos os dados obtidos neste trabalho de formatura.

O aterro ocupa uma área de aproximadamente 32.000 m², no qual houve disposição de resíduos industriais no período de 1995 a 1997. Dentre os resíduos depositados, predomina material de construção civil, seguido de resíduos de refratário, lama e pó coletor de alto forno, lama de ETEQ (Estação de Tratamento de Efluentes Químicos), lama de aciaria e lama e borra de alcatrão. Ou seja, resíduos predominantemente inorgânicos.

O clima é do tipo Tropical de altitude, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. A precipitação média anual é de 1.377,9mm, sendo que a maior incidência de chuvas ocorre no verão, nos meses de janeiro e fevereiro. O relevo é do tipo acidentado com altitude variando entre 371 e 378 metros. A área é cortada por uma drenagem de direção SE-NW, com sentido de fluxo para NE.

A partir do mapa potenciométrico elaborado pela estagiária e executora desse TF, com as cargas hidráulicas dos poços instalados na área, foi possível observar a direção preferencial de fluxo da água subterrânea confluindo de leste e de oeste em direção ao córrego que atravessa o centro da área de estudo, caracterizando-o assim como zona de descarga do aquífero raso e potencial receptor ecológico para as substâncias lixiviadas a partir dos resíduos.

Por outro lado, os bairros residenciais presentes a leste e oeste da área estão à montante de acordo com as direções preferenciais de fluxo e possivelmente não estão na rota de difusão do material lixiviado.

O solo da área de estudo está contaminado por Cr, Cu, Mo, Pb, Ni e Hg. O Cr e o Mo são os contaminantes mais comuns observados no solo e tendem a ocorrer nos mesmo locais (inclusive nas mesmas amostras). A ocorrência dos demais elementos como contaminantes no solo, para o cenário residencial (CETESB, 2016), é pontual. Dos elementos observados em amostras de solo, são observados também como contaminantes em água subterrânea o Pb, Cr, Mo, Ni, sendo que a contaminação por Pb e Cr pode ser caracterizada apenas quando são analisadas amostras não filtradas.

Há suspeita de contaminação também por Ag em água subterrânea, entretanto não confirmada pois, como foi observada em apenas uma amostra, pode se tratar de um falso positivo ou de uma ocorrência muito pontual.

Conforme evidenciado pela análise de *box plot* em grupos de amostras de solo, os elementos Pb, Cr, Mo e Ni, observados como contaminantes na água subterrânea, apresentam maiores concentrações do grupo descrito como “aterro”, ou seja, que apresentam indício visual de contaminação por escórias e resíduos. Tal observação pode ser interpretada como um indício de que estes elementos estão sendo lixiviados a partir do resíduo aterrado e por isso estão em concentrações anômalas na água subterrânea.

A maior pluma de contaminante observada na água subterrânea da área de estudos é a de Mo. Tal pluma ocorre na porção a oeste da drenagem e parece estar se difundindo tanto em direção ao noroeste, quanto em direção à drenagem.

Com base no que foi discutido, é possível concluir que o córrego que atravessa a área de estudos é o principal receptor ecológico para os contaminantes observados em água subterrânea. Cabe ressaltar que os metais observados como contaminantes na forma dissolvida (Mo e Ni) provavelmente possuem mobilidade maior que os observados apenas na forma não dissolvida (Pb e Cr), difundindo-se juntamente com a água subterrânea.

Uma vez que área do aterro encontra-se cercada e o acesso de pessoas não autorizadas não é permitido, o contato direto do solo com receptores humanos é pouco frequente. Uma provável via de contaminação que deve ser considerada é a ingestão ou contato dérmico com água contaminada, obtida através de poços de abastecimento a montante da área de estudos. Não existem poços cadastrados a uma distância inferior a 1 km da área de estudos, entretanto, deve-se considerar a possibilidade da existência de poços irregulares.

Caso a área venha a ser ocupada, a via de contato dérmico e ingestão de solo subsuperficial contaminado provavelmente irá se concretizar. Também é possível que ocorra contato dérmico e ingestão de água contaminada através do córrego que recebe a carga de contaminantes através da água subterrânea ou de água captada através de poços. Tal cenário indica que, caso a área venha a ser ocupada, a saúde da população ali residente provavelmente será exposta a riscos considerados não aceitáveis.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e no que foi discutido na sessão anterior, é possível concluir que:

O solo da área de estudos encontra-se contaminado pelos elementos Cr, Cu, Mo, Pb, Ni, Hg.

Em água subterrânea observa-se contaminação por Pb, Cr, Mo, Ni, em relação aos valores orientadores definidos em CETESB (2016). A contaminação por Pb e Cr pode ser caracterizada apenas em análises de amostras não filtradas.

Os elementos Cr e Mo são os contaminantes de ocorrência mais comum tanto em solo quanto em água subterrânea.

A direção preferencial de fluxo da água subterrânea se dá para nordeste na porção a oeste da drenagem e para sudoeste na porção ao sul da drenagem, ou seja, o fluxo possui uma componente para norte e outra em direção à drenagem.

A análise estatística de concentrações de metais em resíduos, através de *box plots*, se mostrou útil para diferenciar o perfil de materiais que apresentam característica visual e textural diversa. Através dos gráficos, foi possível identificar diferenças estatísticas nas concentrações de metais obtidas por extração parcial do solo com indício visual de contaminação por escórias e resíduos do solo sem tais indícios de contaminação. Tal ferramenta pode ser utilizada em estudos em que sejam realizadas análises em um número elevado de pontos, para que haja representatividade estatística.

Os resultados das análises de solo não refletem a composição química total do material aterrado, uma vez que para a análise química é realizada extração parcial e não total. Entretanto, tais análises indicam quais elementos podem ser considerados ambientalmente disponíveis. No caso estudado, as amostras descritas como aterro disponibilizam maiores concentrações de

O material aterrado descrito como “aterro” disponibiliza para o meio quantidades maiores dos seguintes elementos: Fe, Mn, Cu, Cr, Mo, Ni e Zn. Já o material descrito como solo sem indícios visuais de contaminação disponibiliza maiores concentrações de Al e Ba.

Os elementos Pb, Cr, Mo e Ni provavelmente estão sendo lixiviados a partir do resíduo aterrado e por isso estão em concentrações anômalas na água subterrânea.

As concentrações dos elementos analisados em água subterrânea parecem constantes ao longo do tempo. Para Mo, Mn e Ni, as concentrações parecem aumentar ao longo do tempo. Entretanto, as variações observadas podem estar relacionadas a fatores sazonais.

O principal receptor ecológico para a contaminação observada é o córrego que atravessa a área de estudos.

Caso a área seja ocupada, a saúde da população ali residente provavelmente será exposta a riscos considerados não aceitáveis.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 10.004: *Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 10005: *Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). NBR ISO/IEC 17.025: *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007). NBR 15.492: *Sondagem de Reconhecimento para Fins de Qualidade Ambiental – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). NBR 15.847 – *Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento — Métodos de purga*. Rio de Janeiro: ABNT

Alves, C. F. C. (2012). *Geoquímica das águas subterrâneas de um aterro de resíduos sólidos em Araras, SP*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. DOI:10.11606/D.44.2012.tde-28022013-100554.

Brasil. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, 2 set. 1981.

Casarini, D. C. P., Dias, C. L., Lemos, M. M. G. (2002). Critérios de qualidade de solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo – Valores Orientadores. *XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Florianópolis, Santa Catarina: ABAS. Acesso em 20 de maio de 2018, <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22331/14674>>

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2001). *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2005). *Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E. de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências*. São Paulo, 2005.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2013). *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. São Paulo.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2014). *Decisão de Diretoria Nº 045-2014- E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014*. São Paulo.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2016). *Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo*. Decisão de Diretoria Nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016. São Paulo, 2016.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2017). *Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a*

Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. São Paulo, 2017.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2009). Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009. *Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.* Brasil, 2009.

Fadigas, F. de S., Sobrinho, N. M. B. do A., Mazur, N., Anjos, L. H. C. dos, Freixo, A. A. (2006). Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3), 699-705.

Freeze, R. A., Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.

Galuszka, A. (2007). A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. *Environmental Geology*, 52, 861-870.

Gloaguen, V. T., Passe, J. J. (2017). Importance of lithology in defining natural background concentrations of Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in sedimentary soils, northeastern Brazil. *Chemosphere*, 186, 31-42.

Hypolito, R., Andrade, S., Ezaki, S. (2011). *Geoquímica da interação: água, rocha, solo: estudos preliminares*. São Paulo: All Print Editora.

Lemos, M. M. G (2001). *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo*. CETESB, 73p.

Nascimento, S. C., Hypolito, R., Ribeiro, A. A. (2006). Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 11(3), 296-202.

Rodrigues, A. S. de L., Júnior, H. A. N. (2009). Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. *Revista Escola de Minas*, 62(2), 155-165.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency (1996). *Method 3050B - Acid digestion of sediments, sludges and soils*. United States, 1996.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency (1998). *Method 6020A - Inductively coupled plasma - mass spectrometry*. United States, 1998.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency (2000). *Method 6010C - Inductively coupled plasma - atomic emission spectrometry*. United States, 2000.

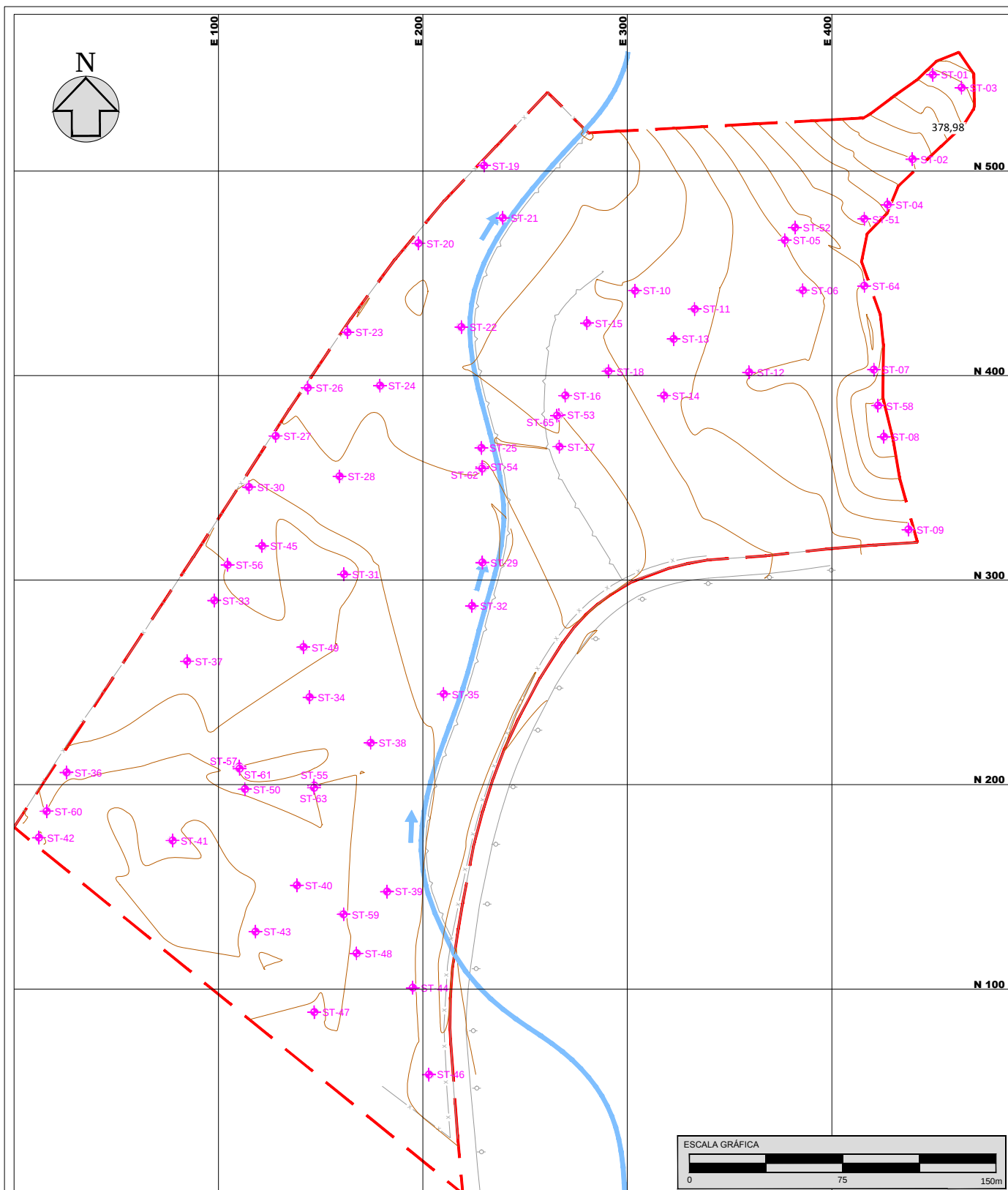
USEPA – U.S. Environmental Protection Agency (2002). *Method 1631, Revision E: Mercury in water by oxidation, purge and trap, and color vapor atomic fluorescence spectrometry*. United States, 2002.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency (2007). *Method 7473 - Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry*. United States, 2014.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency (2014). *Method 6010D - Inductively coupled plasma - atomic emission spectrometry*. United States, 2014.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency (2018). *Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables*. United States, 2018.

ANEXOS



LEGENDA:

--- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

ST-00 SONDAGEM

— CURVA DE NÍVEL

— HIDROGRAFIA LOCAL

— CERCA

TÍTULO DA FIGURA:
ANEXO I - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS REALIZADAS EM 2015

TEMA DO TRABALHO:
INVESTIGAÇÃO DE PASSIVO DE PASSIVO AMBIENTAL COM ENFOQUE EM METAIS EM
ÁREA DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

ORIENTANDO:
NAOMI KIKUCHI

ORIENTADOR:
JOEL B. SÍGOLO

TRABALHO DE FORMATURA:

TF - 18/34

Anexo II – Resultados das análises químicas para metais em solo expressos em mg/kg (2015)

Matriz: SAR

ID Amostra	Valor de Intervenção Residencial (CETESB, 2016)	AS-09	AS-10	AS-12	AS-14	AS-18	AS-19	AS-20	AS-26	AS-27	AS-42	AS-58
Matriz		SAR	SAR	SAR	SAR	SAR	SAR	SAR	SAR	SAR	SAR	SAR
Profundidade		0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m
ALUMÍNIO	NR	24347,8	22243,7	18511,7	9862	1531,9	8652,2	7147,5	5548,1	8822,9	45316,1	11416
ANTIMÔNIO	10	< 1,40	< 1,21	< 1,23	< 1,25	< 1,10	< 1,20	< 1,08	< 1,12	< 1,04	< 1,29	< 1,16
ARSÊNIO	55	< 2,10	< 1,81	< 1,85	< 1,88	< 1,65	< 1,81	< 1,61	< 1,68	< 1,56	< 1,94	< 1,74
BÁRIO	1300	202,1	310,9	450,8	293,8	22,4	127,8	95,4	73,9	310,5	179,5	156,5
BORO	NR	< 5,61	< 4,83	< 4,92	< 5,02	< 4,40	< 4,81	< 4,31	< 4,47	< 4,17	< 5,16	< 4,63
CÁDMIO	14	< 1,40	< 1,21	< 1,23	< 1,25	< 1,10	< 1,20	< 1,08	< 1,12	< 1,04	< 1,29	< 1,16
CHUMBO	240	23,6	< 2,41	< 2,46	< 2,51	3,66	< 2,41	36,5	12,1	< 2,08	< 2,58	10,2
COBALTO	65	20,2	2,93	6,1	2,01	< 1,65	< 1,81	< 1,61	< 1,68	< 1,56	9,52	40,9
COBRE	2100	12,5	5,59	2,86	7,27	2,73	< 2,41	7,7	3,58	8,01	< 2,58	6,25
CROMO	300	30,5	28,7	27,1	12,5	9,77	49,1	269,9	81,3	28,8	49,8	18,6
FERRO	NR	51430,6	25113,1	26083,1	19869,4	3404,4	25904,4	37571,6	19102,1	18888,6	30748,4	32769,4
MANGANÊS	NR	253,2	804,6	443,9	511,1	178	1994,9	4374,1	1060,8	308,2	307,2	1703,4
MERCÚRIO	0,9	< 0,140	< 0,121	< 0,123	< 0,125	< 0,110	< 0,060	< 0,108	< 0,056	< 0,052	< 0,129	< 0,116
MOLIBDÊNIO	29	< 2,81	< 2,41	< 2,46	< 2,51	< 2,20	< 2,41	14,1	< 2,24	< 2,08	< 2,58	< 2,32
NÍQUEL	480	12,5	< 2,41	< 2,46	< 2,51	3,45	< 2,41	90,4	11,7	< 2,08	15,5	5,56
PRATA	100	< 2,10	< 1,81	< 1,85	< 1,88	< 1,65	< 1,81	< 1,61	< 1,68	< 1,56	< 1,94	< 1,74
SELÊNIO	81	< 2,10	< 1,81	< 1,85	< 1,88	< 1,65	< 1,81	< 1,61	< 1,68	< 1,56	< 1,94	< 1,74
VANÁDIO	NR	109,7	61,5	69,1	39,3	5,08	49,9	34	22	33,4	25,1	52,3
ZINCO	7000	65,9	49,5	51,1	62,4	39,5	108,8	247,2	176,2	41,4	98,4	40,5

Matriz – Aterro

ID Amostra	Valor de Intervenção Residencial (CETESB, 2016)	AS-01	AS-02	AS-03	AS-04	AS-05	AS-06	AS-07	AS-08	AS-11	AS-13	AS-15
Matriz		Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro
Profundidade		0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m
ALUMÍNIO	NR	10284,6	10128,6	11706,6	6590,9	4053	11895,5	6714,6	10170,4	8625,7	3116,1	8506,4
ANTIMÔNIO	10	< 1,14	< 1,19	< 1,17	< 1,17	< 1,13	< 1,22	< 1,10	< 1,18	< 1,15	3,52	< 1,17
ARSÊNIO	55	< 1,71	< 1,79	< 1,76	< 1,75	< 1,69	< 1,82	< 1,65	< 1,76	< 1,72	< 1,78	< 1,75
BÁRIO	1300	202,5	152,1	223,1	127,3	53	164,4	100	199,4	159,5	41,5	77,6
BORO	NR	< 4,57	< 4,76	< 4,69	< 4,66	< 4,51	< 4,86	< 4,39	< 4,70	< 4,59	< 4,74	< 4,67
CÁDMIO	14	< 1,14	< 1,19	< 1,17	< 1,17	< 1,13	< 1,22	< 1,10	< 1,18	< 1,15	< 1,18	< 1,17
CHUMBO	240	5,54	20,5	3,81	45,7	16,7	25,6	< 2,20	17,8	22,2	23,7	9,28
COBALTO	65	10,5	12	13,7	5,82	2,39	10,6	5,49	26,3	7,55	< 1,78	< 1,75
COBRE	2100	8,24	23,2	14,5	26,3	8,01	16,8	3,92	11,6	21,6	6,53	< 2,33
CROMO	300	17,8	48,2	24	156,6	89,6	18,4	9,57	18,4	258,8	869	167,7
FERRO	NR	29657,1	104904,8	31525,8	102960,4	22889,4	28955	15488,5	41692,1	57611,9	46296,2	22270
MANGANÊS	NR	261	1087,9	331,6	2026,8	1670,4	856,9	140,8	1150,3	2498,3	1383,5	1087,4
MERCÚRIO	0,9	< 0,114	< 0,119	< 0,117	< 0,117	< 0,113	< 0,122	< 0,110	< 0,118	< 0,115	< 0,118	< 0,117
MOLIBDÊNIO	29	< 2,29	< 2,38	< 2,35	21,4	5,17	< 2,43	< 2,20	< 2,35	21,8	118,5	7,06
NÍQUEL	480	13,3	31,5	15,4	82,8	41,4	11	6,06	7,36	41,7	366,6	27,3
PRATA	100	< 1,71	< 1,79	< 1,76	< 1,75	< 1,69	< 1,82	< 1,65	< 1,76	< 1,72	< 1,78	< 1,75
SELÊNIO	81	< 1,71	< 1,79	< 1,76	< 1,75	< 1,69	< 1,82	< 1,65	< 1,76	< 1,72	< 1,78	< 1,75
VANÁDIO	NR	38,8	45	53	38,2	33,2	35,6	23,3	66,5	64,1	27	14,9
ZINCO	7000	123	116,1	69,8	379,3	117,5	119,1	38,1	66,5	144,2	915,3	226,1

Matriz – Aterro

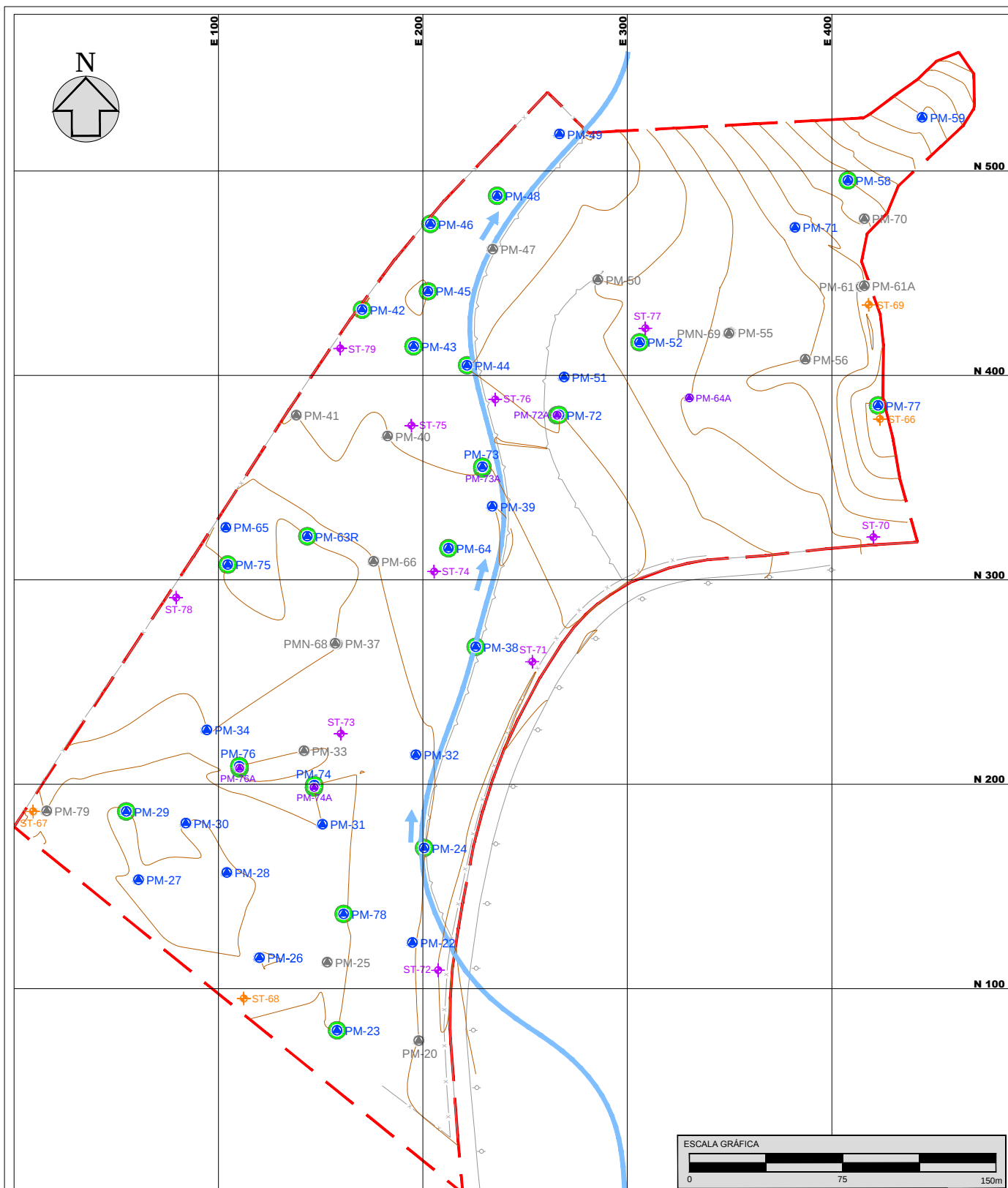
ID Amostra	Valor de Intervenção Residencial (CETESB,2016)	AS-16	AS-17	AS-21	AS-22	AS-23	AS-24	AS-25	AS-28	AS-29	AS-30	AS-31
Matriz	Valor de Intervenção Residencial (CETESB,2016)	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro
Profundidade		0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m
ALUMÍNIO	NR	2719,4	3813,8	6138,7	3475,8	5774,6	5959,8	9081	5885,4	7265,8	3375,8	20988,1
ANTIMÔNIO	10	< 1,20	< 1,15	< 1,16	< 1,12	< 1,08	< 1,12	< 1,09	< 1,27	< 1,15	< 1,18	< 1,18
ARSÊNIO	55	< 1,80	< 1,72	< 1,73	< 1,69	< 1,63	< 1,67	< 1,64	< 1,91	< 1,73	< 1,77	< 1,77
BÁRIO	1300	57,8	47,9	104,3	66,3	123,6	90,2	117,7	110,5	77	29,6	167,9
BORO	NR	< 4,80	< 4,60	< 4,62	< 4,50	< 4,33	< 4,46	< 4,38	< 5,10	< 4,61	< 4,72	< 4,73
CÁDMIO	14	< 1,20	< 1,15	< 1,16	< 1,12	< 1,08	< 1,12	< 1,09	< 1,27	< 1,15	< 1,18	< 1,18
CHUMBO	240	15,8	11,8	21,5	17,4	87,7	276,4	52,5	8,6	30,4	< 2,36	< 2,36
COBALTO	65	< 1,80	< 1,72	< 1,73	< 1,69	< 1,63	< 1,67	< 1,64	< 1,91	< 1,73	< 1,77	< 1,77
COBRE	2100	5,4	9,48	2,92	7,32	5,11	2511,2	2,5	11	< 2,31	< 2,36	2,63
CROMO	300	6,21	91,2	99,8	274,6	410,5	182,2	453,6	762,9	50,5	147,7	51,3
FERRO	NR	22014,4	26069	31633,6	30287,3	40728,3	43273,4	47984,5	67293,4	38101,3	43752,6	34551,8
MANGANÊS	NR	372,3	1333,3	4604,6	1879,7	4713,4	1934,2	6165,2	3101,6	2611	5092	1600,7
MERCÚRIO	0,9	< 0,120	< 0,115	< 0,058	< 0,056	< 0,054	< 0,056	< 0,055	< 0,064	< 0,058	< 0,118	< 0,118
MOLIBDÊNIO	29	< 2,40	7,8	< 2,31	26,6	47,2	< 2,23	61,6	109,9	< 2,31	< 2,36	< 2,36
NÍQUEL	480	2,71	18,8	7,2	66,2	241,9	50,1	170,9	329	< 2,31	< 2,36	< 2,36
PRATA	100	< 1,80	< 1,72	< 1,73	< 1,69	< 1,63	< 1,67	< 1,64	< 1,91	< 1,73	< 1,77	< 1,77
SELÊNIO	81	< 1,80	< 1,72	< 1,73	< 1,69	< 1,63	< 1,67	< 1,64	< 1,91	< 1,73	< 1,77	< 1,77
VANÁDIO	NR	5,13	23,2	51,3	26,7	74	32	95,6	42,1	40,3	70	74,7
ZINCO	7000	485,7	87,9	121,7	711,2	1397,6	941,3	1258,2	306,3	408,6	336,3	65,4

Matriz – Aterro

ID Amostra	Valor de Intervenção Residencial (CETESB,2016)	AS-32	AS-33	AS-34	AS-35	AS-36	AS-37	AS-38	AS-39	AS-40	AS-41	AS-43
Matriz		Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro
Profundidade		0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m
ALUMÍNIO	NR	7144,9	8571,9	6257,8	5220,5	13337,3	2226,4	11684,4	7123,3	11259,8	8464,1	16723,6
ANTIMÔNIO	10	< 1,10	< 1,10	< 1,11	< 1,18	< 1,19	< 1,18	< 1,19	< 1,14	< 1,12	< 1,12	< 1,07
ARSÊNIO	55	< 1,66	< 1,65	< 1,67	< 1,77	< 1,79	< 1,77	< 1,79	< 1,71	< 1,69	< 1,68	< 1,60
BÁRIO	1300	44,7	53,7	70,4	59,5	361	18,5	98,4	73,8	123,6	88,4	120,4
BORO	NR	< 4,42	< 4,40	< 4,44	< 4,72	< 4,77	< 4,72	< 4,77	< 4,57	< 4,50	< 4,48	< 4,27
CÁDMIO	14	< 1,10	< 1,10	< 1,11	< 1,18	< 1,19	< 1,18	< 1,19	< 1,14	< 1,12	< 1,12	< 1,07
CHUMBO	240	4,02	< 2,20	18,8	10,6	11,6	8,74	5,48	10,9	14	15,7	50,9
COBALTO	65	< 1,66	< 1,65	3,03	2,52	32,6	< 1,77	< 1,79	5,23	8,66	4,42	4,26
COBRE	2100	7,44	7,63	25	8,18	14,9	4,42	5,67	11,5	14,4	48,7	11,7
CROMO	300	169,5	42,3	52,8	38,2	42,3	10,2	80,7	161,4	29,1	75,1	54,2
FERRO	NR	25347,4	22771,3	22277,8	14669,8	31215,7	11258,3	24737,7	41940,6	16164,2	30112,1	30981,9
MANGANÊS	NR	673,7	873,2	761,8	652,1	1427,9	46,5	1141,4	2987,4	500,4	548,9	1959,4
MERCÚRIO	0,9	< 0,110	< 0,110	< 0,111	< 0,118	< 0,119	< 0,118	< 0,119	< 0,114	< 0,112	< 0,112	< 0,107
MOLIBDÊNIO	29	< 2,21	< 2,20	4,61	< 2,36	< 2,38	< 2,36	< 2,39	5,14	< 2,25	8,27	< 2,13
NÍQUEL	480	< 2,21	< 2,20	13,7	7,65	25,1	< 2,36	22,3	15,8	18,1	51,1	10,5
PRATA	100	< 1,66	< 1,65	< 1,67	< 1,77	< 1,79	< 1,77	< 1,79	< 1,71	< 1,69	< 1,68	< 1,60
SELÊNIO	81	< 1,66	< 1,65	< 1,67	< 1,77	< 1,79	< 1,77	< 1,79	< 1,71	< 1,69	< 1,68	< 1,60
VANÁDIO	NR	16,9	44,8	19,8	24,9	41,8	31,3	31,4	71,6	26,3	25,4	46,5
ZINCO	7000	95,3	60,9	697,1	124,4	77,6	86,8	587,8	147	254	74,7	160,6

Matriz – Aterro

ID Amostra	Valor de Intervenção Residencial (CETESB, 2016)	AS-44	AS-45	AS-46	AS-47	AS-48	AS-49	AS-50	AS-51	AS-52	AS-53	AS-54
Matriz		Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro
Profundidade		0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	0,5m
ALUMÍNIO	NR	8627,5	15091,8	7735,3	5167	6952,8	13419,9	6196,1	8127,8	11438,4	4259,7	6661,4
ANTIMÔNIO	10	< 1,16	< 1,22	< 1,30	< 1,08	< 1,12	< 1,13	< 1,13	< 1,17	< 1,27	< 1,14	< 1,13
ARSÊNIO	55	< 1,75	< 1,84	< 1,96	< 1,62	< 1,69	< 1,69	< 1,70	< 1,76	< 1,91	< 1,71	< 1,70
BÁRIO	1300	102	126,3	96,4	88,6	75,3	195,1	66,5	79,4	104,5	66,5	86,7
BORO	NR	< 4,66	< 4,90	< 5,22	< 4,31	< 4,50	< 4,51	< 4,54	< 4,69	< 5,08	< 4,56	< 4,53
CÁDMIO	14	< 1,16	< 1,22	< 1,30	< 1,08	< 1,12	< 1,13	< 1,13	< 1,17	< 1,27	< 1,14	< 1,13
CHUMBO	240	40,5	9,07	11,9	2,63	53,9	6,09	19,8	28,3	17,4	25,9	100,1
COBALTO	65	8,7	52,1	5,57	3,1	4,87	< 1,69	4,3	3,89	11,7	< 1,71	4,07
COBRE	2100	39,2	16,9	11,5	2,31	15,4	5,08	10,8	10,3	14,5	< 2,28	13
CROMO	300	288,6	50,6	88	56,9	38,8	51,4	32,8	35,8	170,5	26,2	141,2
FERRO	NR	37508,7	33084,5	37340,3	35646,6	23138,4	31106,3	18718,8	36881,6	41461,2	32517,1	31744,1
MANGANÊS	NR	1132,4	766,1	2664,9	5462,3	389,9	1742,7	1218,8	1343,5	844,6	1496,6	1750,8
MERCÚRIO	0,9	< 0,116	< 0,122	< 0,130	< 0,108	< 0,112	< 0,113	< 0,113	< 0,117	< 0,127	< 0,114	< 0,113
MOLIBDÊNIO	29	29,2	< 2,45	3,68	< 2,16	< 2,25	< 2,25	< 2,27	< 2,34	50,1	< 2,28	12,9
NÍQUEL	480	45,3	25,5	87,1	3,3	11,8	< 2,25	8,02	12,3	78,9	4,29	48,2
PRATA	100	< 1,75	< 1,84	< 1,96	< 1,62	< 1,69	< 1,69	< 1,70	< 1,76	< 1,91	< 1,71	< 1,70
SELÊNIO	81	< 1,75	< 1,84	< 1,96	< 1,62	< 1,69	< 1,69	< 1,70	< 1,76	< 1,91	< 1,71	< 1,70
VANÁDIO	NR	42,8	44,9	67,1	82,3	27,8	36,9	32,8	16,8	51,2	32,2	33,3
ZINCO	7000	482	147,1	116,5	41,4	254,8	593,8	99,9	557,9	147,6	510,6	891,6



LEGENDA:

- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS
- PM-00 POÇO DE MONITORAMENTO - RASO
- PM-00 POÇO DE MONITORAMENTO OBSTRUÍDO
- PM-00A POÇO DE MONITORAMENTO - MULTINÍVEL
- POÇO DE MONITORAMENTO SELECIONADO PARA AMOSTRAGEM
- ★ ST-00 SONDAGEM BACKGROUND
- ★ ST-00 SONDAGEM CENÁRIO
- CURVA DE NÍVEL
- HIDROGRAFIA LOCAL
- CERCA

TÍTULO DA FIGURA:
ANEXO III - PLANO DE AMOSTRAGEM

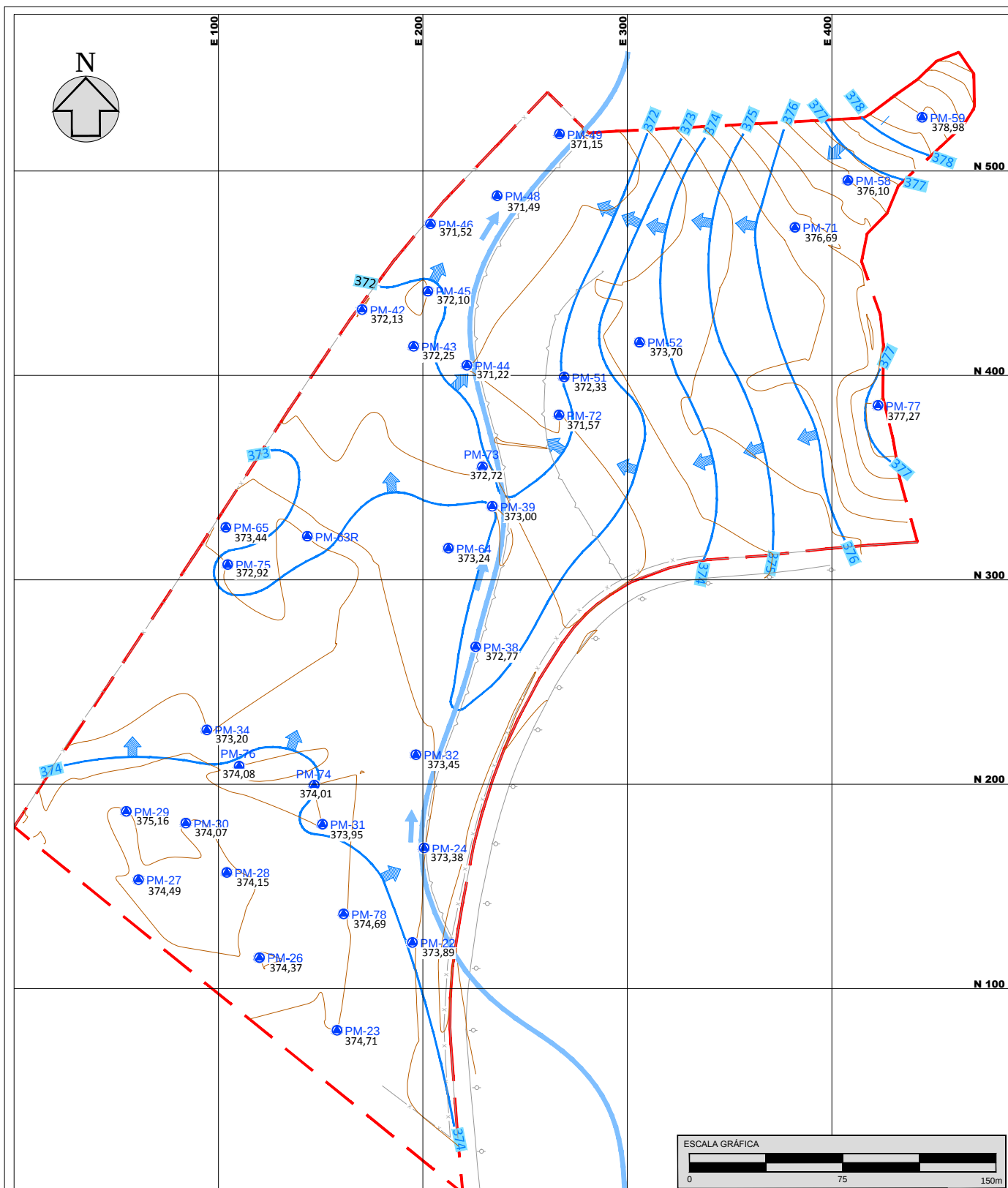
TEMA DO TRABALHO:
INVESTIGAÇÃO DE PASSIVO DE PASSIVO AMBIENTAL COM ENFOQUE EM METAIS EM
ÁREA DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

ORIENTANDO:
NAOMI KIKUCHI

ORIENTADOR:
JOEL B. SÍGOLO

TRABALHO DE FORMATURA:

TF - 18/34



LEGENDA:

--- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

PM-00 POÇO DE MONITORAMENTO - RASO

— CURVA DE NÍVEL

— HIDROGRAFIA LOCAL

— CERCA

➡ SENTIDO DO FLUXO

— LINHA EQUIPOTENCIAL DE FLUXO

0,00 CARGA HIDRÁULICA (m)

TÍTULO DA FIGURA:

ANEXO IV - MAPA POTENCIOMÉTRICO

TEMA DO TRABALHO:

INVESTIGAÇÃO DE PASSIVO DE PASSIVO AMBIENTAL COM ENFOQUE EM METAIS EM
ÁREA DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

ORIENTANDO:

NAOMI KIKUCHI

ORIENTADOR:

JOEL B. SÍGOLO

TRABALHO DE FORMATURA:

TF - 18/34

Matriz – Aterro

ID Amostra	Valor de Intervenção Residencial (CETESB, 2016)	AS-55A	AS-56A	AS-57A	AS-59A	AS-61C	AS-61D	AS-63C	AS-63D	AS-64A	AS-65C	AS-65D
Matriz		Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro	Aterro
Profundidade		0,5m	0,5m	0,5m	0,5m	2,0m	6,0m	4,0m	6,0m	0,5m	2,0m	6,0m
ALUMÍNIO	NR	7755,1	9725,1	8848,4	9546,9	7407,7	8905,5	5123	6513,2	6730,3	9979,4	9698,8
ANTIMÔNIO	10	< 1,14	< 1,10	< 1,09	< 1,12	< 1,17	< 1,14	< 1,15	< 1,32	< 1,11	< 1,08	< 1,32
ARSÊNIO	55	< 1,71	< 1,64	< 1,64	< 1,67	< 1,75	< 1,71	< 1,72	< 1,98	< 1,66	< 1,62	< 1,98
BÁRIO	1300	63,3	203,7	70,9	78,7	82,8	88,5	61,6	127,4	121,9	107,6	87,2
BORO	NR	< 4,56	< 4,38	< 4,36	< 4,46	< 4,67	< 4,56	< 4,60	< 5,28	< 4,44	< 4,33	< 5,28
CÁDMIO	14	< 1,14	< 1,10	< 1,09	< 1,12	< 1,17	< 1,14	< 1,15	< 1,32	< 1,11	< 1,08	< 1,32
CHUMBO	240	7,26	5,94	91,9	19,6	21,5	23,6	23,3	23,5	24,2	14,7	10,6
COBALTO	65	3,41	9,11	3,33	5,03	2,97	5,03	3,93	9,88	< 1,66	7,65	5,69
COBRE	2100	6,9	8,29	5,49	10,9	10,4	10,7	10,8	11,6	4,15	13,5	15,3
CROMO	300	15,2	37,5	94,9	107,6	57,7	186,4	204,7	284,4	38,8	56,5	32
FERRO	NR	14066,1	33384,4	23958,6	43069,2	16028	32448,7	22655,2	30197,9	30910,1	42132	24517,8
MANGANÊS	NR	469,9	1916,8	1282,4	1722,1	641,2	1472,7	674,3	7719	1004,8	1948,1	681,2
MERCÚRIO	0,9	< 0,114	< 0,110	< 0,109	< 0,112	< 0,117	< 0,114	0,621	0,594	< 0,111	< 0,108	< 0,132
MOLIBDÊNIO	29	< 2,28	< 2,19	5,25	12,6	5,65	20	14,3	33,3	4,26	< 2,16	< 2,64
NÍQUEL	480	5,25	12,7	19,2	38	19,4	46,3	39,1	74,6	10	12	7,04
PRATA	100	< 1,71	< 1,64	< 1,64	< 1,67	< 1,75	< 1,71	< 1,72	< 1,98	< 1,66	< 1,62	< 1,98
SELÊNIO	81	< 1,71	< 1,64	< 1,64	< 1,67	< 1,75	< 1,71	< 1,72	3,35	< 1,66	< 1,62	< 1,98
VANÁDIO	NR	20,1	50,5	30,1	41,1	25,4	46,9	21,7	31,5	9,12	50,4	41,8
ZINCO	7000	164,7	81	86,5	212,6	108,9	227,8	339,4	359,8	380,7	365,3	148

Anexo V – Resultados das análises químicas para metais em solo expressos em mg/kg (2011)

ID Amostra		SD-01	SD-02	SD-03	SD-04	SD-05	SD-06	SD-07	SD-08	SD-09	SD-10	SD-11	SD-12
Profundidade (m)		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Elemento	VI Residencial	Concentrações											
Al	NR	18.262,0	14.539,0	8.531,0	10.649,0	16.239,0	13.827,0	14.266,0	10.058,0	11.050,0	6.694,0	6.329,0	2.761,0
Sb	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ar	55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ba	1300	170,0	338,0	101,0	174,0	209,0	162,0	164,0	189,0	84,0	43,0	36,0	30,0
B	NR	88,0	67,0	90,0	43,0	71,0	80,0	69,0	37,0	54,0	39,0	27,0	21,0
Cd	14	n.d.	n.d.	1,1	n.d.	0,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	240	53,0	2,3	84,0	22,0	60,0	37,0	32,0	2,3	43,0	14,0	5,4	5,4
Co	65	6,9	13,0	4,3	5,0	4,2	12,0	11,0	10,0	3,7	2,5	2,5	2,6
Cu	2100	12,0	7,3	20,0	12,0	32,0	35,0	29,0	11,0	13,0	3,4	1,0	1,9
Cr	400	48,0	56,0	200,0	58,0	115,0	233,0	119,0	25,0	68,0	31,0	25,0	21,0
Fe	NR	25.962,0	19.476,0	12.506,0	24.480,0	40.002,0	45.593,0	39.896,0	20.348,0	30.521,0	20.679,0	13.649,0	10.876,0
Mn	NR	1.329,0	568,0	3.382,0	1.353,0	1.888,0	1.659,0	1.477,0	1.193,0	1.375,0	422,0	662,0	422,0
Hg	0,9	0,1	n.d.	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	n.d.	0,3	0,1	0,1	0,0
Mo	29	n.d.	0,7	2,8	1,4	6,6	28,0	12,0	n.d.	2,1	n.d.	n.d.	1,4
Ni	480	13,0	30,0	18,0	18,0	36,0	120,0	59,0	12,0	18,0	4,2	3,6	8,3
Ag	50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Se	81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
V	NR	44,0	46,0	54,0	33,0	41,0	60,0	51,0	45,0	45,0	44,0	32,0	16,0
Zn	7000	217,0	51,0	2.446,0	147,0	4.625,0	463,0	373,0	38,0	459,0	62,0	27,0	43,0

Legenda: ID: Identificação; VI: Valor de Intervenção; NR: não regulamentado; n.d.: não detectado.

ID Amostra		SD-01	SD-02	SD-03	SD-04	SD-05	SD-06	SD-07	SD-08	SD-09	SD-10	SD-11	SD-12
Profundidade (m)		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Elemento	VI Residencial	Concentrações											
Al	NR	18.262,0	14.539,0	8.531,0	10.649,0	16.239,0	13.827,0	14.266,0	10.058,0	11.050,0	6.694,0	6.329,0	2.761,0
Sb	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ar	55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ba	1300	170,0	338,0	101,0	174,0	209,0	162,0	164,0	189,0	84,0	43,0	36,0	30,0
B	NR	88,0	67,0	90,0	43,0	71,0	80,0	69,0	37,0	54,0	39,0	27,0	21,0
Cd	14	n.d.	n.d.	1,1	n.d.	0,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	240	53,0	2,3	84,0	22,0	60,0	37,0	32,0	2,3	43,0	14,0	5,4	5,4
Co	65	6,9	13,0	4,3	5,0	4,2	12,0	11,0	10,0	3,7	2,5	2,5	2,6
Cu	2100	12,0	7,3	20,0	12,0	32,0	35,0	29,0	11,0	13,0	3,4	1,0	1,9
Cr	400	48,0	56,0	200,0	58,0	115,0	233,0	119,0	25,0	68,0	31,0	25,0	21,0
Fe	NR	25.962,0	19.476,0	12.506,0	24.480,0	40.002,0	45.593,0	39.896,0	20.348,0	30.521,0	20.679,0	13.649,0	10.876,0
Mn	NR	1.329,0	568,0	3.382,0	1.353,0	1.888,0	1.659,0	1.477,0	1.193,0	1.375,0	422,0	662,0	422,0
Hg	0,9	0,1	n.d.	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	n.d.	0,3	0,1	0,1	0,0
Mo	29	n.d.	0,7	2,8	1,4	6,6	28,0	12,0	n.d.	2,1	n.d.	n.d.	1,4
Ni	480	13,0	30,0	18,0	18,0	36,0	120,0	59,0	12,0	18,0	4,2	3,6	8,3
Ag	50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Se	81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
V	NR	44,0	46,0	54,0	33,0	41,0	60,0	51,0	45,0	45,0	44,0	32,0	16,0
Zn	7000	217,0	51,0	2.446,0	147,0	4.625,0	463,0	373,0	38,0	459,0	62,0	27,0	43,0

Legenda: ID: Identificação; VI: Valor de Intervenção; NR: não regulamentado; n.d.: não detectado.

ID Amostra		SD-25	SD-26	SD-28	SD-29	SD-30	SD-31	SD-32	SD-33	SD-34	SD-35	SD-36
Profundidade (m)		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Elemento	VI Residencial	Concentrações										
Al	NR	23.107,0	15.283,0	16.538,0	20.053,0	14.172,0	16.014,0	18.572,0	15.185,0	14.621,0	7.743,0	8.463,0
Sb	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ar	55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ba	1300	322,0	134,0	232,0	182,0	106,0	158,0	224,0	70,0	152,0	159,0	62,0
B	NR	121,0	105,0	136,0	98,0	143,0	102,0	165,0	196,0	277,0	123,0	53,0
Cd	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	240	39,0	27,0	48,0	18,0	45,0	22,0	154,0	37,0	55,0	29,0	8,6
Co	65	12,0	7,3	11,0	12,0	7,1	6,0	3,5	6,1	17,0	7,3	4,3
Cu	2100	28,0	29,0	40,0	15,0	32,0	27,0	53,0	44,0	1.457,0	15,0	3,3
Cr	400	194,0	93,0	301,0	71,0	94,0	156,0	38,0	516,0	2.402,0	148,0	51,0
Fe	NR	44.731,0	37.383,0	47.411,0	35.638,0	58.110,0	36.593,0	72.895,0	83.083,0	116.188,0	29.110,0	11.233,0
Mn	NR	1.723,0	2.235,0	2.028,0	1.375,0	1.522,0	2.015,0	1.739,0	3.057,0	3.079,0	1.046,0	1.105,0
Hg	0,9	0,0	n.d.	n.d.	n.d.	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	n.d.
Mo	29	2,3	2,4	28,0	0,7	5,1	15,0	n.d.	22,0	175,0	7,0	n.d.
Ni	480	31,0	27,0	52,0	36,0	39,0	59,0	10,0	55,0	798,0	45,0	9,3
Ag	50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Se	81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
V	NR	61,0	51,0	74,0	59,0	49,0	64,0	28,0	107,0	88,0	30,0	28,0
Zn	7000	274,0	123,0	547,0	92,0	311,0	218,0	1.278,0	254,0	419,0	259,0	73,0

Legenda: ID: Identificação; VI: Valor de Intervenção; NR: não regulamentado; n.d.: não detectado.

ID Amostra		SD-37	SD-38	SD-39	SD-40	SD-41	SD-42	SD-43	SD-44	SD-45	SD-46	SD-47
Profundidade (m)		0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Elemento	VI Residencial	Concentrações										
Al	NR	14.547,0	26.133,0	5.959,0	16.844,0	11.021,0	10.722,0	18.571,0	16.997,0	14.637,0	19.323,0	17.049,0
Sb	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ar	55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ba	1300	159,0	281,0	94,0	106,0	104,0	98,0	202,0	284,0	86,0	352,0	147,0
B	NR	84,0	91,0	240,0	241,0	69,0	243,0	92,0	104,0	202,0	106,0	269,0
Cd	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	240	7,7	4,2	44,0	27,0	17,0	43,0	3,4	7,0	39,0	3,3	63,0
Co	65	3,5	14,0	6,2	4,3	4,3	7,2	11,0	13,0	4,2	14,0	8,1
Cu	2100	6,4	4,1	22,0	295,0	15,0	30,0	15,0	23,0	16,0	22,0	29,0
Cr	400	52,0	29,0	422,0	118,0	56,0	1.099,0	62,0	33,0	72,0	34,0	51,0
Fe	NR	19.142,0	20.975,0	69.228,0	26.000,0	36.737,0	29.011,0	17.360,0	18.160,0	23.874,0	18.027,0	28.743,0
Mn	NR	2.734,0	279,0	2.500,0	2.996,0	2.328,0	2.143,0	525,0	424,0	1.882,0	348,0	2.100,0
Hg	0,9	n.d.	n.d.	0,1	4,1	0,1	0,0	n.d.	n.d.	0,1	n.d.	n.d.
Mo	29	n.d.	n.d.	43,0	27,0	n.d.	231,0	3,7	n.d.	2,7	n.d.	n.d.
Ni	480	3,8	16,0	260,0	n.d.	12,0	216,0	33,0	15,0	29,0	17,0	14,0
Ag	50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Se	81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
V	NR	71,0	48,0	46,0	68,0	54,0	47,0	38,0	60,0	52,0	58,0	59,0
Zn	7000	75,0	51,0	993,0	391,0	192,0	173,0	69,0	55,0	284,0	60,0	160,0

Legenda: ID: Identificação; VI: Valor de Intervenção; NR: não regulamentado; n.d.: não detectado.

Anexo VI – Evolução das concentrações de metais em água subterrânea em µg/L (2010, 2014 e 2015.)

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Ba	Bo	Fe	Mn	Mo	V
PM-023	21/11/10	1,2	19,1	8,3	9,3	10,7	6,0	10,8
	01/06/14	1,8	46,0	< LQ	< LQ	33,0	< LQ	38,0
	20/07/15	2,1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Ba	B	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
PM-024	21/11/2010	2,22	265,3	37,5	115,5	701,5	20,4	2,4	< LQ
	01/06/2014	2,37	584,0	93,0	8.280,0	1.250,0	< LQ	< LQ	< LQ
	21/07/2015	2,35	597,0	26,1	870,0	1.232,0	< LQ	< LQ	173,0

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	B	Fe	Mn	Mo	V
PM-038	26/11/10	1,97	328,2	113,0	123,1	195,5	31,3	183,3	17,0
	01/06/14	2,17	358,0	89,0	133,0	520,0	23,0	124,0	< LQ
	21/07/15	1,97	< LQ	190,0	79,5	< LQ	296,0	24,5	< LQ

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	B	Fe	Mn	Mo	Zn
PM-039	09/11/2010	2,68	14,5	233,2	92,2	27,8	892,3	11,7	7,8
	01/06/2014	2,66	< LQ	366,0	74,0	308,0	1.610,0	< LQ	< LQ
	21/07/2015	2,14	< LQ	302,0	< LQ	< LQ	653,0	< LQ	< LQ

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	B	Fe	Mn	Mo
PM-042	11/11/2010	2,35	12,7	101,5	227,9	86,0	385,4	24,9
	01/06/2014	2,62	< LQ	68,0	326,0	77,0	300,0	105,0
	23/07/2015	2,42	< LQ	26,4	280,0	179,0	497,0	135,0

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	Bo	Fe	Mn	Mo	Zn
PM-044	09/11/2010	2,13	14,8	132,0	237,7	97,5	874,5	65,1	6,8
	01/06/2014	2,22	< LQ	62,0	233,0	258,0	371,0	159,0	< LQ
	22/07/2015	1,81	< LQ	< LQ	118,0	103,0	156,0	207,0	< LQ

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	B	Fe	Mo
PM-045	10/11/2010	2,23	1.200,0	59,2	520,5	142,9	< LQ
	01/06/2014	2,45	1.040,0	43,0	535,0	118,0	164,0
	22/07/2015	2,32	744,0	< LQ	477,0	61,8	107,0

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	B	Fe	Mn	Mo	V
PM-048	19/11/2010	2,00	1.400,0	51,3	192,2	57,8	< LQ	231,7	8,6
	01/06/2014	2,28	321,0	50,0	195,0	126,0	145,0	130,0	< LQ
	22/07/2015	2,22	407,0	< LQ	190,0	229,0	66,8	220,0	< LQ

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	B	Fe	Mn	Mo
PM-049	10/11/2010	2,00	15,5	99,2	347,1	98,2	107,4	55,1
	01/06/2014	2,76	< LQ	293,0	126,0	< LQ	1.280,0	< LQ
	23/07/2015	2,61	< LQ	< LQ	257,0	< LQ	38,1	43,7

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Ar	Ba	Fe	Mn
PM-052	17/11/2010	2,50	233,7	< LQ	< LQ	< LQ
	01/06/2014	2,14	< LQ	413,0	22.900,0	3.340,0
	27/07/2015	2,38	< LQ	369,0	24.054,0	3.045,0

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	B	Fe	Mo
PM-063	12/11/2010	1,9	2.200,0	56,3	64,7	118,0	79,4
	01/06/2014	2,3	2.760,0	73,0	109,0	69,0	163,0
	22/07/2015	2,3	2.316,0	< LQ	104,0	< LQ	249,0

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Poço	Data de Coleta	Nível d'água	Al	Ba	Bo	Fe	Mn	Mo	V
PM-064	26/10/2010	1,93	647,6	149,8	93,7	199,1	28,5	280,6	12,3
	01/06/2014	2,02	109,0	176,0	109,0	78,0	527,0	183,0	< LQ
	23/07/2015	2,25	< LQ	163,0	88,2	60,6	1.306,0	327,0	< LQ

Legenda: < LQ: menor que o limite de quantificação.

Anexo VII – Resultados das análises químicas para metais totais e dissolvidos em água subterrânea expressos em µg/L (2018)

Poço de Monitoramento		PM-23	PM-24	PM-38	PM-42	PM-45	PM-49	PM-48
ID Amostra		AA-01	AA-02	AA-03	AA-04	AA-06	AA-07	AA-08
Data de Coleta		21/8/18	21/8/18	22/8/18	30/8/18	30/8/18	3/9/18	3/9/18
Elemento/Parâmetro	VI	Concentrações						
Condutividade	-	727,0	1.187,0	450,0	535,0	627,0	464,0	331,0
Ph	-	7,9	7,3	7,8	8,1	10,8	8,3	6,9
ORP	-	-16,5	-161,5	-136,4	-117,8	-269,6	-168,0	-195,4
Al	NR	1.006,0	1.290,0	< 74	165,0	1.175,0	1.015,0	1.052,0
Al D	NR	< 74	183,0	< 74	140,0	1.175,0	149,0	147,0
Sb	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sb D	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ar	10	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ar D	10	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	700	94,7	580,0	444,1	71,7	28,0	53,0	57,7
Ba D	700	71,0	580,0	444,0	71,0	28,0	53,0	51,0
B	2400	< 22	73,0	136,3	337,2	617,9	554,6	406,9
B D	2400	< 22	73,0	94,0	337,0	644,0	523,0	386,0
Cd	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd D	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Pb D	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Co	70	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Co D	70	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Cu	2000	< 4	< 4	18,1	< 4	23,2	53,5	44,8
Cu D	2000	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	48,0	36,0
Cr	50	99,9	90,6	< 7,000	8,0	< 7,000	149,3	145,7
Cr D	50	< 7,000	16,0	< 7,000	< 7,000	< 7,000	< 7,000	< 7,000
Fe	NR	1.299,0	13.350,0	165,5	309,0	341,7	< 32,000	3.499,0
Fe D	NR	< 32	5.944,0	< 32	193,0	100,0	< 32	368,0
Mn	NR	72,1	1.855,0	1.940,0	213,0	8,5	254,5	225,6
Mn D	NR	24,0	1.208,0	1.940,0	213,0	< 0,005	259,0	265,0
Hg	1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Hg D	1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Mo	30	7,9	13,0	42,8	372,0	302,7	107,7	141,2
Mo D	30	< 4	13,0	43,0	372,0	37,0	110,0	70,0
Ni	70	53,7	56,2	3,4	9,0	4,6	101,6	116,0
Ni D	70	< 3	16,0	< 3	9,0	5,0	26,0	18,0
Ag	50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ag D	50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Se	10	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Se D	10	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
V	NR	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
V D	NR	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
Zn	1800	34,2	35,3	13,2	12,2	9,9	30,7	25,7
Zn D	1800	14,0	22,0	7,0	4,0	3,0	9,0	24,0

Legenda: D – Dissolvido; VI – Valor de Intervenção; NR – Não Regulamentado.

Poço de Monitoramento		PM-70	PM-63	PM-64	PM-39	PM-74	PM-75
ID Amostra		AA-10	AA-11	AA-12	AA-14	AA-15	AA-16
Data de Coleta		3/9/18	3/9/18	28/8/18	28/8/18	27/8/18	29/8/18
Elemento/Parâmetro	VI	Concentrações					
Condutividade	-	158,0	778,0	728,0	151,0	760,0	495,0
Ph	-	6,2	10,8	7,7	5,9	7,4	9,0
ORP	-	118,0	-118,5	-166,8	140,0	-163,3	-202,3
Al	NR	2.428,0	2.616,0	< 74	< 74	361,0	1.059,0
Al D	NR	74,0	634,0	< 74	< 74	< 74	324,0
Sb	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sb D	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ar	10	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ar D	10	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	700	51,0	84,2	183,2	474,7	32,7	57,0
Ba D	700	37,0	71,0	107,0	454,0	15,0	57,0
B	2400	< 22	328,9	95,9	44,8	151,7	195,6
B D	2400	< 22	340,0	87,0	48,0	< 22	196,0
Cd	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd D	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Pb D	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Co	70	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Co D	70	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Cu	2000	36,6	32,7	7,4	8,5	6,8	< 4
Cu D	2000	27,0	27,0	< 4	< 4	< 4	< 4
Cr	50	165,0	173,1	27,9	16,2	< 7,000	156,0
Cr D	50	16,0	11,0	< 7,000	< 7,000	< 7,000	24,0
Fe	NR	2.122,0	2.595,0	368,9	427,7	1.949,0	1.201,0
Fe D	NR	< 32	< 32	< 32	127,0	1.900,0	118,0
Mn	NR	109,4	112,1	433,6	2.065,0	6,9	38,9
Mn D	NR	47,0	< 0,005	404,0	1.952,0	< 0,005	32,0
Hg	1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Hg D	1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Mo	30	6,0	897,8	271,9	17,5	174,2	124,8
Mo D	30	< 4	940,0	270,0	15,0	< 4	122,0
Ni	70	97,8	130,8	18,8	16,0	81,2	97,9
Ni D	70	11,0	42,0	9,0	< 3	< 3	13,0
Ag	50	< 5	< 5	< 5	< 5	87,8	< 5
Ag D	50	< 5	< 5	< 5	< 5	82,0	< 5
Se	10	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Se D	10	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
V	NR	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
V D	NR	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
Zn	1800	33,5	139,7	22,3	5,0	68,1	18,6
Zn D	1800	9,0	6,0	5,0	8,0	68,0	10,0

Legenda: D – Dissolvido; VI – Valor de Intervenção; NR – Não Regulamentado.

Poço de Monitoramento		PM-76	PM-78	PM-79	PM-73A	PM-74A	PM-76A
ID Amostra		AA-17	AA-18	AA-19	AA-23	AA-24	AA-25
Data de Coleta		27/8/18	21/8/18	31/8/18	28/8/18	22/8/18	27/8/18
Elemento/Parâmetro	VI	Concentrações					
Condutividade	-	597,0	847,0	315,0	1.001,0	742,0	816,0
Ph	-	9,8	6,8	6,5	7,0	7,4	7,3
ORP	-	-288,0	-102,7	-57,6	-129,1	-158,0	-149,8
Al	NR	128,0	1.240,0	1.506,0	< 74	2.072,0	< 74
Al D	NR	< 74	< 74	< 74	< 74	< 74	< 74
Sb	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sb D	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ar	10	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ar D	10	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Ba	700	77,5	371,3	169,2	390,4	335,5	313,8
Ba D	700	76,0	312,0	169,0	367,0	331,0	310,0
B	2400	138,8	< 22	22,7	34,1	< 22	< 22
B D	2400	130,0	< 22	< 22	26,0	< 22	< 22
Cd	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cd D	5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Pb D	10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Co	70	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Co D	70	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Cu	2000	< 4	< 4	6,4	< 4	< 4	< 4
Cu D	2000	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Cr	50	< 7,000	86,3	12,3	< 7,000	< 7,000	< 7,000
Cr D	50	< 7,000	< 7,000	< 7,000	< 7,000	< 7,000	< 7,000
Fe	NR	1.440,0	12.630,0	9.541,0	12.040,0	4.934,0	4.626,0
Fe D	NR	669,0	9.885,0	8.874,0	7.973,0	1.382,0	4.600,0
Mn	NR	204,0	2.353,0	2.659,0	2.005,0	1.654,0	947,3
Mn D	NR	204,0	2.353,0	2.659,0	1.940,0	1.654,0	940,0
Hg	1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Hg D	1	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Mo	30	267,7	5,2	< 4	105,3	9,1	< 4
Mo D	30	11,0	< 4	< 4	53,0	8,0	< 4
Ni	70	9,1	53,9	7,3	9,3	< 3	< 3
Ni D	70	9,0	< 3	3,0	< 3	< 3	< 3
Ag	50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ag D	50	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Se	10	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Se D	10	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
V	NR	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
V D	NR	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
Zn	1800	7,9	35,2	18,7	7,1	17,3	13,4
Zn D	1800	8,0	< 3	6,0	4,0	< 3	7,0

Legenda: D – Dissolvido; VI – Valor de Intervenção; NR – Não Regulamentado.