



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**AMANDA KAORI KASITA MARCOS**

**ANÁLISE DA ÁREA DE CONTAMINAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DESATIVADA  
DE CROMAGEM E ZINCAGEM CONFORME INSTRUÇÃO NORMATIVA N°  
74/2018 DO INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE**

Tubarão

2020

**AMANDA KAORI KASITA MARCOS**

**ANÁLISE DA ÁREA DE CONTAMINAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DESATIVADA  
DE CROMAGEM E ZINCAGEM CONFORME INSTRUÇÃO NORMATIVA N°  
74/2018 DO INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Alessandro de Oliveira Limas, Ms.

Tubarão

2020

**AMANDA KAORI KASITA MARCOS**

**ANÁLISE DA ÁREA DE CONTAMINAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DESATIVADA  
DE CROMAGEM E ZINCAGEM CONFORME INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº  
74/2018 DO INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 28 de julho de 2020.

---

Professor e orientador Alessandro de Oliveira Limas, Ms.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Suzana Cimara Batista, Dra.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Wilson Alano, Ms.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha sanidade que se foi a muito tempo e a todos que me incentivaram a nunca desistir apesar de toda dificuldade (ainda mais por estar tão próxima do meu objetivo).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida que me concedeu, fazendo com que eu pudesse ampliar meus conhecimentos e melhorar quem sou a cada dia.

Agradeço aos meus pais, Márcia e Ednaldo, por me proporcionarem a oportunidade de estar aqui, a chance de poder crescer e aprender mais a ser uma profissional como eles.

Agradeço aos meus amigos, pois sem eles a vida seria infeliz e sem sentido, o apoio deles foi um detalhe especial para mim.

Agradeço ao meu amor, Jonatha Anderson, meu porto seguro em meio as tempestades, minha base quando eu não tinha chão e quem me preencheu de carinho e compreensão, sempre sendo o melhor que pôde.

Meu muito obrigada ao orientador, Alessandro Limas, por ser um guia no trajeto deste trabalho, visto a dificuldade vivenciada, manteve-se presente, compreensivo e disponível aos casos da turma.

Ao meu excelentíssimo parceiro e responsável por este tema de trabalho, Gabriel Bressan, por acreditar no meu potencial, fazendo de tudo para que este projeto representasse de forma fiel o que elaboramos no escritório.

E agradeço a mim mesma, por uma questão de amor próprio, e porque consegui chegar tão longe apesar de todos os dias aguentar um desafio diferente, confiei em mim e estou quase chegando ao fim desta jornada.

“Eu sou o que me cerca. Se eu não preservar o que me cerca, eu não me preservo” (JOSÉ ORTEGA Y GASSET, 1883-1955).

## RESUMO

As atividades industriais são atividades antrópicas que, em certas situações, apresentam um potencial de contaminação ambiental representativo. Uma das atividades que se destacam no aspecto de potencial poluidor são as galvanotécnicas. Além das exigências ambientais impostas durante toda a fase de operação da empresa de galvanotécnica, no encerramento destas atividades é necessário que seja elaborado um Plano de Encerramento de acordo com o Enunciado nº 02 (IMA) e o seguimento de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, referente à Instrução Normativa nº 74 de 2018 do Instituto do Meio Ambiente, visando comprovar a inexistência de qualquer dano ambiental ao local. Em 2017, foram identificados indícios de contaminação em água subterrânea através de estudos de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória em uma empresa desativada de cromagem e zincagem. Dessa forma, com o intuito de encerrar as atividades de uma empresa de cromagem e zincagem e processar a baixa da licença ambiental, este trabalho teve como objetivo analisar a área de contaminação de uma indústria desativada de cromagem e zincagem, seguindo os procedimentos estabelecidos pela IN nº 74/2018 do IMA. Investigou-se, portanto, a área de estudo por meio de sondagens e poços de monitoramento para posterior análise de água subterrânea para os parâmetros de metais totais, comparando os resultados com os padrões da Resolução CONAMA nº 420/2009. Para auxiliar na investigação, realizou-se um mapa potenciométrico o qual define o sentido do lençol freático e do arraste dos contaminantes. A Investigação Detalhada apresentou contaminação em água subterrânea dos metais totais: alumínio, arsênio, bário, cádmio, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel, selênio e zinco, e, as plumas horizontais de contaminação dessas substâncias contaminantes foram determinadas. Estabelecidas as substâncias químicas de interesse, fez-se a Avaliação de Risco à saúde humana através das planilhas disponibilizadas pela CETESB, analisando os cenários de risco para os residentes urbanos (crianças e adultos). As contaminações de arsênio e cobalto foram quantificadas com índices acima do permitido de  $1 \times 10^{-5}$  e 1 para substâncias cancerígenas e não cancerígenas, respectivamente, referentes aos cenários de ingestão e contato dérmico, com efeitos carcinogênicos na faixa de  $1,07 \times 10^{-5}$  e  $5,18 \times 10^{-4}$ ; e não cancerígenos entre 2,77 e 7,63. Por fim, foi proposto o Plano de Intervenção na área que consiste em remover o material químico dos tanques a fim de cessar a fonte de contaminação, concluindo em monitoramento e manutenção da área.

Palavras-chave: Gerenciamento de áreas contaminadas. Contaminação ambiental. Investigação ambiental.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas .....	13
Figura 2 – Localização da área de estudo.....	17
Figura 3 – Entorno da atividade .....	23
Figura 4 – Localização dos poços de monitoramento .....	26
Figura 5 – Localização dos poços de amostragem .....	28
Figura 6 – Mapa potenciométrico.....	31

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelo conceitual da área (MCA1) .....	24
Quadro 2 – Modelo conceitual da área (MCA 2) .....	29
Quadro 3 – Medições feitas para averiguar sentido do lençol freático .....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1	ENCERRAMENTO DE ATIVIDADE .....	11
1.2	GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS .....	12
<b>1.2.1</b>	<b>Processo de identificação de áreas contaminadas .....</b>	<b>14</b>
1.2.1.1	Avaliação Preliminar .....	14
1.2.1.2	Investigação Confirmatória .....	14
1.2.1.3	Investigação Detalhada.....	14
1.2.1.4	Avaliação de Risco à Saúde Humana.....	15
<b>1.2.2</b>	<b>Processo de reabilitação de áreas contaminadas.....</b>	<b>15</b>
1.3	OBJETIVOS .....	16
<b>1.3.1</b>	<b>Geral.....</b>	<b>16</b>
1.3.1.1	Específicos.....	16
<b>2</b>	<b>APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....</b>	<b>17</b>
2.1	LOCALIZAÇÃO ÁREA DE ESTUDO .....	17
2.2	HISTÓRICO .....	17
2.3	ENQUADRAMENTO DE ATIVIDADE.....	18
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1	AVALIAÇÃO PRELIMINAR E INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA.....	20
<b>4.1.1</b>	<b>Sondagens e amostragem de solo .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Poços de monitoramento e amostragem de águas subterrâneas.....</b>	<b>20</b>
4.2	INVESTIGAÇÃO DETALHADA .....	21
<b>4.2.1</b>	<b>Sondagens e amostragem de águas subterrâneas.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Levantamento topográfico.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Delimitação de pluma.....</b>	<b>22</b>
4.3	AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA .....	22
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
5.1	AVALIAÇÃO PRELIMINAR E INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA.....	23
<b>5.1.1</b>	<b>Sondagens e amostragem de solo .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Poços de monitoramento e amostragem de águas subterrâneas.....</b>	<b>25</b>
5.2	INVESTIGAÇÃO DETALHADA .....	27
<b>5.2.1</b>	<b>Sondagens e amostragem de águas subterrâneas.....</b>	<b>27</b>

<b>5.2.2 Levantamento topográfico.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.3 Delimitação de pluma.....</b>	<b>31</b>
<b>5.3 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA .....</b>	<b>32</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE A – Resultados comparativos de solo da investigação confirmatória .....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE B – Resultados comparativos de água subterrânea da investigação confirmatória .....</b>	<b>40</b>
<b>APÊNDICE C – Resultados comparativos da investigação detalhada.....</b>	<b>41</b>
<b>APÊNDICE D – Plumas de contaminação .....</b>	<b>42</b>
<b>APÊNDICE E – Modelo Conceitual de Exposição .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE F –Tabela de máximas concentrações encontradas das SQI e CMA obtidas pelas planilhas CETESB .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO A – Quantificação de risco da Avaliação de risco à saúde humana .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que uma das formas mais comuns de contaminação do solo e das águas subterrâneas em ambientes urbanos refere-se majoritariamente às atividades industriais. Um exemplo impactante a ser citado é a atividade galvanotécnica industrial ou galvanoplastia, que revestindo peças através de processos químicos e eletrolíticos. (VALENZUELA, 1999, p.1)

Este é um dos setores mais críticos em questão de emissão de poluentes por conta de grandes volumes de efluentes de metais pesados, podendo ser prejudicial para o ambiente e às pessoas do entorno desta atividade se descartados de forma indevida. (BORGO, 2005, p.1)

Como possui alto potencial de poluição, é importante que durante o período de atuação das atividades deste ramo mantenham-se diversos controles ambientais, sendo papel do técnico responsável pela empresa estabelecer essas condições, restrições e medidas de controle ambiental de acordo com a legislação.

Segundo Feitosa *et al.* (2004, p.12):

É importante controlar continuamente as condições de operação, pois, mesmo licenciada, a atividade não deve causar poluição ambiental. A empresa estará sujeita às sanções impostas pela legislação ambiental por qualquer impacto ambiental negativo decorrente da sua operação, mesmo após o encerramento das atividades.

Sendo assim, as intervenções previstas na licença ambiental devem ser seguidas e relatadas ao órgão responsável com certa periodicidade para que possam atestar sua forma correta de atuação ambiental. Entretanto, se o Instituto do Meio Ambiente suspeitar de alguma irregularidade durante as fiscalizações, pode exigir um Estudo de Passivo Ambiental e deve-se seguir todo um processo descrito pelas Instruções Normativas e demais legislações.

Bem recentemente, os Estudos de Passivo Ambiental seguiam restritamente a resolução CONAMA nº 420/2009 e a Decisão de Diretoria 38 CETESB/2017/C de São Paulo. Porém, em 2018, o IMA de Santa Catarina passou a ter a IN nº 74 que trouxe todas as orientações e diretrizes para serem seguidas em conjunto para realização desses relatórios.

É preciso destacar ainda que quando a empresa decide descontinuar o negócio deste tipo de atividade, deve-se solicitar o Termo de Encerramento da atividade que normalmente envolve esses tipos de estudos.

### 1.1 ENCERRAMENTO DE ATIVIDADE

O Enunciado nº 02 do Instituto do Meio Ambiente traz em seu conteúdo o “Plano de encerramento de atividades e empreendimento licenciáveis” e determina o conteúdo mínimo

exigido de acordo com a Resolução CONSEMA nº 98/2017, art. 35º, necessário para empreendimentos onde foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminantes com a finalidade de avaliar a qualidade ambiental das áreas que serão desativadas ou desocupadas.

As instruções gerais e o conteúdo mínimo deste Enunciado ainda especificam que se deve realizar a caracterização da situação ambiental por meio de avaliação de passivo ambiental, comprovando a inexistência de representantes de risco ao ambiente ou à saúde da população para ocorrer a emissão do Termo de Encerramento da atividade pelo IMA.

Esta caracterização deve ser realizada segundo com a Instrução Normativa nº 74 de 2018, a qual “define a documentação necessária e estabelece os critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais executados na Recuperação/Gerenciamento de Áreas Contaminadas, incluindo identificação, investigação e reabilitação da área”.

É através desta instrução que se segue todas as etapas de investigação e Gerenciamento de Áreas Contaminadas e consequente metodologia. Esta IN é uma síntese das normas ABNT NBR 15.515 e 16.209 como forma de padronização e melhor acessibilidade, merecendo destaque por suas iniciativas para orientação e controle do mercado de GAC e minimizando os riscos em potencial. (MORAES, TEIXEIRA, MAXIMIANO, 2014, p.15)

## 1.2 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

De acordo com Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2007):

Uma área contaminada pode ser definida como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural.

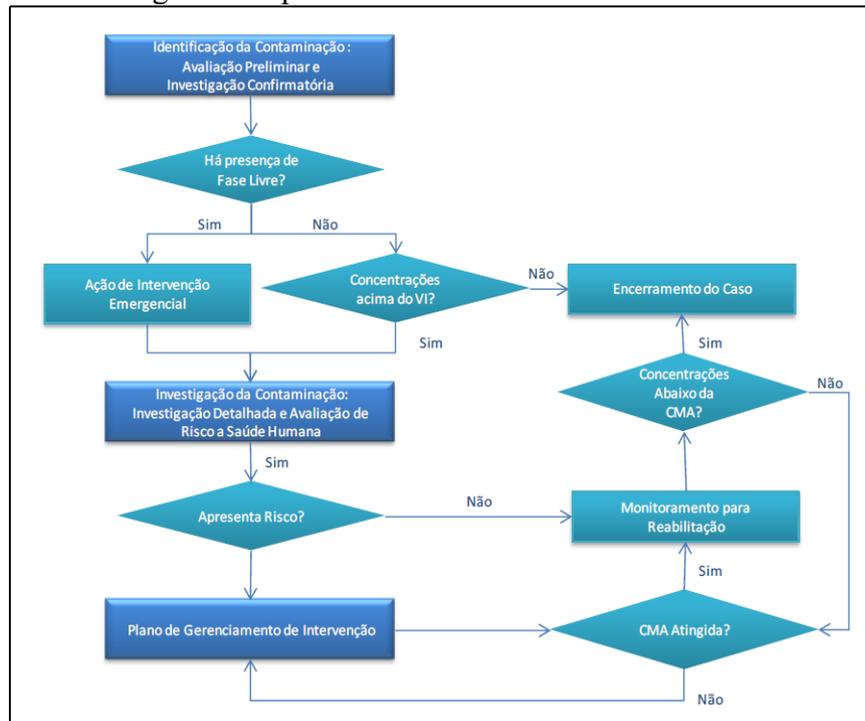
De acordo com a norma ABNT NBR 15.515-2 (2011, p.6), deve-se efetuar a interpretação dos resultados obtidos das análises de solo e água subterrânea comparando com os valores orientadores estabelecidos pela legislação vigente, a critério do órgão ambiental, sendo a metodologia analítica adotada pelo laboratório compatível com os valores de interesse. Os parâmetros determinados devem estar em concordância com o tipo de atividade exercida.

Atualmente no âmbito nacional, o gerenciamento de áreas contaminadas é estabelecido pela resolução CONAMA nº 420/2009, a qual “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”. No final desta resolução, está o Anexo II listando os valores de referência de qualidade para solos e águas subterrâneas.

A metodologia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) ou Estudo de Passivo Ambiental é baseada em uma estratégia constituída por etapas sequenciais ilustradas pelo fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas



Fonte: IMA, 2018.

Segundo IMA (2018, p.11), “o objetivo dessas etapas é diminuir precisamente para níveis aceitáveis a exposição que estão sujeitos a população e o meio ambiente às substâncias provenientes de áreas contaminadas”, proporcionando tomadas de decisão mais adequadas.

A cada etapa do processo de identificação de áreas contaminadas são desenvolvidos os Modelos Conceituais da Área (MCA) que representam a situação ambiental da área. O MCA auxilia na investigação sobre a contaminação de forma mais prática, informando sobre os processos físico-químicos envolvidos no transporte de contaminantes das fontes primárias até os potenciais receptores da contaminação. (IMA, 2018, p.14)

Ao longo deste trabalho, os MCA foram representados por meio de quadros contendo: as atividades potencialmente contaminadoras de solo e água subterrânea, fontes suspeitas de contaminação, áreas fonte de contaminação, mecanismos de liberação primária,

compartimentos do meio físico potencialmente impactados, mecanismos de liberação secundária, e receptores potenciais.

Assim, as fases seguidas pela Instrução Normativa nº 74/2018 para o gerenciamento de áreas contaminadas consistem em dois processos: identificação de áreas contaminadas e reabilitação de áreas contaminadas.

## **1.2.1 Processo de identificação de áreas contaminadas**

### **1.2.1.1 Avaliação Preliminar**

De acordo com a norma ABNT NBR 15.515-1 (2007, p. 4), “a avaliação preliminar é a realização de um diagnóstico inicial, mediante coleta de dados existentes e realização de inspeção de reconhecimento da área”.

A coleta de dados existentes é feita de acordo com a norma ABNT NBR 15.515-1:2007, através de pesquisas do histórico empresarial e do meio físico.

Conforme IMA (2018, p. 13), ao final é preciso classificar durante esta etapa a área de interesse conforme: área com potencial de contaminação (AP); área suspeita de contaminação (AS); ou área contaminada (AC). E referente a execução das demais etapas, acontece no caso de identificar a área como AP, AS ou AC, ou ainda se há motivação do órgão ambiental.

### **1.2.1.2 Investigação Confirmatória**

Esta etapa tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação na área identificada na etapa anterior através de coletas e análises químicas laboratoriais de solo e água subterrânea, interpretando os resultados pela comparação com os padrões legais aplicáveis recomendados. (IMA, 2018, p.17)

Para elaboração de procedimentos de sondagens necessários é utilizada a ABNT NBR 15492:2007 e para o projeto, construção e desenvolvimentos dos poços de monitoramento segue-se a ABNT NBR 15495-1:2007 e 15495-2:2008. Constatada contaminação e classificando a área de interesse como AC, deve-se prosseguir para a Investigação Detalhada.

### **1.2.1.3 Investigação Detalhada**

Nesta etapa, visando subsidiar a execução da etapa de Avaliação de Risco, são estabelecidas as substâncias químicas de interesse (SQI), isto é, são definidos os parâmetros

que ultrapassaram os padrões previstos pela legislação e determinadas suas concentrações nos compartimentos do meio físico (fase retida, dissolvida, de vapor e/ou fase livre). É feita também a delimitação espacial (horizontal e vertical) destas substâncias e demonstrada por meio de plumas, as quais mostram as formas de deslocamento dos contaminantes, e também da caracterização dos *hot spots* (região dentro da pluma onde ocorrem as maiores concentrações das substâncias químicas de interesse) nos diferentes compartimentos do meio físico, detalhando as áreas fontes de contaminação. (IMA, 2018, p.19)

#### 1.2.1.4 Avaliação de Risco à Saúde Humana

Em conjunto com a Investigação Detalhada, a Avaliação de Risco à Saúde Humana compõe parte importante no diagnóstico da área contaminada e possui como objetivo “a identificação e quantificação dos riscos à saúde de potenciais receptores quando estes estão expostos à contaminação previamente investigada a partir de cenários de exposição padronizados” (MORAES, TEIXEIRA e MAXIMIANO, p. 30, 2014).

Orientado pela IN nº 74/2018 como ferramenta de suporte, são utilizadas as planilhas disponibilizadas gratuitamente pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), sendo um documento referência em questão de Avaliação de Risco.

Conforme a CETESB (2013), estas planilhas possibilitam a quantificação dos riscos para substâncias cancerígenas e não cancerígenas, individual e cumulativa, relacionando os cenários de exposição e os parâmetros químicos indicados pelo usuário, além de realizar o cálculo das concentrações máximas aceitáveis de maneira padronizada e otimizada.

A quantificação de risco apresenta 12 vias de exposição para os receptores residenciais (crianças e/ou adultos) e trabalhadores, desenvolvida no programa Microsoft® Excel para 4 cenários: Residentes em Áreas Urbanas; Residentes em Áreas Rurais; Trabalhadores Comerciais/Industriais; Trabalhadores em Obras Cívicas. (CATHCART, 2017, p. 28)

#### 1.2.2 Processo de reabilitação de áreas contaminadas

O processo de reabilitação de áreas contaminadas engloba a elaboração e execução do Plano de Intervenção, além do monitoramento para Encerramento ou Reabilitação. Este processo é específico de cada tipo de atividade para determinar a melhor forma de intervir, dependendo do contaminante e do risco que ele apresenta à saúde humana e ao meio ambiente.

O plano de intervenção é desenvolvido a partir da Avaliação de Risco, definindo medidas para aplicação na área de interesse para o controle da exposição do corpo receptor as contaminações listadas e/ou minimizar o risco à níveis aceitáveis. (IMA, 2018, p. 7)

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Geral

Analisar a área de contaminação de uma indústria desativada de cromagem e zincagem, seguindo os procedimentos estabelecidos pela IN nº 74/2018 do IMA.

##### 1.3.1.1 Específicos

- Discutir os resultados dos parâmetros de metais totais, comparando com os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009;
- Analisar os resultados encontrados através de pesquisas sobre a geomorfologia do local e a característica físico-química dos metais analisados;
- Delimitar as plumas de contaminação dos parâmetros que ultrapassaram os padrões da legislação;
- Elaborar a análise de risco para qualificar e quantificar o risco da contaminação presumida aos receptores locais;
- Propor formas de intervenção e/ou monitoramento da área com base na Avaliação de Risco à saúde humana.



objetos por intermédio de uma solução dissolvida de metais em que uma corrente elétrica contínua de baixa tensão e alta amperagem atravessa, acontecendo o fenômeno da eletrólise e reações de oxirredução. (RIO DE JANEIRO, 2014, p.6; GUIMARÃES, 2014, p.10)

Entre as matérias-primas utilizadas durante o processo de cromagem e zincagem pode-se citar: cromo em pó, ácido nítrico, ácido sulfúrico, cianeto, soda cáustica, óxido de zinco, ácido muriático, ânodo de cobre e níquel, desengraxantes e removedores, sendo estes últimos necessários para limpeza química da peça a ser galvanizada, além de consumir uma grande quantidade de água em lavagens.

Justamente pela quantidade de matérias-primas perigosas e devido à alta agressividade destas, é preciso um cuidado especial à manutenção das instalações uma vez que o desgaste é bem significativo. É necessária proteção do piso com material antiácido e as águas poluídas devem ser conduzidas separadamente, segundo suas reações. (LUTTER, 1970, p. 4)

De acordo com Lutter (1970, p. 5), o ideal para esses tipos de indústrias é que existam calhas e canaletas de drenagem para que o efluente da lavagem dos pisos e eventuais respingos de solução sejam enviados aos reservatórios de armazenagem temporária e posteriormente à estação de tratamento de efluentes (ETE). O piso do local da empresa é composto por concreto na área de galvanização, polimento e armazenagem, além de totalmente coberto.

Ressalta-se que na área do estudo foi realizada o Estudo de Passivo ambiental contemplando a Avaliação Preliminar e a Investigação Confirmatória em 2017, levantando informações geomorfológicas, hidrológicas, entre outras necessárias estes estudos.

### 2.3 ENQUADRAMENTO DE ATIVIDADE

De acordo com a Resolução CONSEMA nº 98/2017 e o “Quadro de atividades licenciadas ou sujeitas ao cadastro ambiental, por portes, com seus respectivos instrumentos técnicos para o licenciamento” disposto no Anexo I da Instrução normativa nº 04, a atividade de serviços galvanotécnicos se enquadra no código 11.80.02.

A fim de manter um controle sobre os potenciais malefícios causados ao meio ambiente, a empresa entregava trimestralmente análises dos efluentes líquidos industriais dos parâmetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, cianeto, cromo, ferro, zinco, cobre e níquel, e mais os comprovantes de destinação de resíduos sólidos gerados (lodo da ETE, embalagens de produtos químicos, etc.).

### 3 JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA

Os processos de galvanotécnica possuem alto impacto poluidor ao meio ambiente e um risco à saúde humana, acarretando contaminação devido ao ineficiente controle dos produtos químicos utilizados e à falta de adequada fiscalização.

Assim como normalmente acontece em postos de combustível, as investigações ambientais nessas atividades são motivadas pelo potencial contaminador e exigidas como forma de prevenção a maiores danos ao solo e ao lençol freático. Essas investigações são importantes para identificar o local e os níveis de contaminação, como os metais pesados: alumínio, bário, cádmio, cobalto, cobre, chumbo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco, a fim de propor soluções rápidas e eficientes para recuperação, minimizando os riscos à população e ao meio ambiente, além de evitarem penalidades previstas na legislação vigente.

Geralmente, em vistorias para renovação da licença ambiental, o órgão ambiental pode solicitar a apresentação de Estudo de Passivo Ambiental em solo e água subterrânea se suspeitar ou identificar potencial contaminação no local, visto a forma que a atividade está sendo executada. É preciso que este tipo de estudo contenha a Avaliação Preliminar e a Investigação Confirmatória e, caso evidencie-se contaminação, deve-se executar as próximas etapas de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, conforme o seguimento da Instrução Normativa nº 74/2018 do IMA.

O responsável técnico de uma empresa de cromagem e zincagem entregou em 2017 a Avaliação de Passivo Ambiental, compreendendo as etapas de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória, como exigido e identificou contaminação na área de estudo. Entretanto, por problemas financeiros e administrativos, a empresa foi impossibilitada de continuar com suas atividades e, em 2019, o técnico retirou-se do caso.

Logo, o processo de investigação das áreas contaminadas foi deixado incompleto, impossibilitando de encerrar a atividade devidamente e a empresa foi notificada que deveria apresentar a delimitação das plumas de contaminação, a Investigação Detalhada e Avaliação de Risco, continuando os estudos requeridos, antes de haver sérias consequências legais.

Dessa forma, chegou-se ao problema deste relatório: **como analisar áreas contaminadas, compreendendo a investigação detalhada e a avaliação de risco a saúde humana, seguindo os procedimentos estabelecidos IN nº 74 de 2018, de uma atividade de cromagem e zincagem do sul de Santa Catarina?**

## **4 MÉTODOS**

### **4.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR E INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA**

Primeiramente, constatou-se evidências, indícios e fatos através do levantamento de informações disponíveis sobre o uso atual e pretérito da área, além de observações atentas do local. Foram realizadas pesquisas nos registros existentes sobre a área e relatórios antigos entregues ao IMA, além de inspeções para reconhecimento das instalações e da vizinhança.

Depois, a confirmação da contaminação na área de estudo foi contestada qualitativamente por meio de coletas e análises químicas laboratoriais de amostras representativas de solo e água subterrânea para os parâmetros de interesse, realizadas em pontos suspeitos. A identificação da contaminação desenvolveu-se mediante os serviços de sondagens para amostragem de solo e consequente amostragem de água subterrânea.

#### **4.1.1 Sondagens e amostragem de solo**

Os procedimentos de perfuração executados utilizaram um trado tipo manual helicoidal com 4'' de diâmetro para amostras sólidas de solo, certificando-se que não haveriam interferências subterrâneas (tubulações, cabeamento, redes de esgoto, etc.).

As amostras escolhidas para análise química foram coletadas na franja capilar e armazenadas em frascos de vidro, preservadas em temperatura inferior a 4 °C, e enviadas ao laboratório certificado para análise dos parâmetros de interesse. Foram coletadas amostras do solo para análises químicas dos metais totais: alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), boro (B), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), prata (Ag), selênio (Se), vanádio (V) e zinco (Zn). Os resultados foram comparados com os valores orientadores da Resolução CONAMA nº 420/2009 e apresentados em tabelas.

#### **4.1.2 Poços de monitoramento e amostragem de águas subterrâneas**

Em seguida, foram realizados três poços de monitoramento denominados PM-01, PM-02 e PM-03. Previamente ao início da amostragem, os poços de monitoramento foram purgados objetivando a renovação da água subterrânea.

As três amostras foram coletadas mediante a utilização de amostrador de aço inox (*bailer* de inox), sendo que para cada poço de monitoramento amostrado foi realizado a limpeza do *bailer* com detergente neutro desfosfatado (Extran). As águas amostradas foram armazenadas em frascos específicos para cada parâmetro a ser analisado, refrigerada em temperatura inferior a 4 °C, e encaminhada também ao laboratório certificado para análise.

A coleta de amostras das águas subterrâneas provenientes dos poços de monitoramento destinou-se a análise dos seguintes metais totais: alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), boro (B), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), prata (Ag), selênio (Se), vanádio (V) e zinco (Zn). Os resultados foram comparados com os valores de referência da Resolução CONAMA nº 420/2009 e expostos em tabelas.

## 4.2 INVESTIGAÇÃO DETALHADA

### 4.2.1 Sondagens e amostragem de águas subterrâneas

A princípio foram realizadas três novas perfurações e sondagens para amostragem de água subterrânea. As sondagens foram executadas por meio de um trado mecanizado de 4'' de diâmetro, analisando o perfil do solo ao longo da perfuração de forma tátil, visual e olfativa.

Em seguida, a fim de fazer a análise das concentrações de metais totais, utilizaram-se amostradores descartáveis (*bailer* de tubo PVC transparente) individuais para cada ponto de coleta. As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos apropriados e distribuídas em dois frascos de 1 litro cada, mantidas em um *cooler* com gelo, refrigeradas na faixa de temperatura de 4 °C ± 2 °C até o envio para o laboratório certificado de análise.

Os parâmetros de análise definidos foram os mesmos da Investigação Confirmatória e os resultados comparados com os padrões da legislação foram mostrados em forma de tabela.

### 4.2.2 Levantamento topográfico

O nível estático foi definido através da medição de um fio de náilon amarrado na ponta do *bailer* de PVC com uma fita métrica antes de coletar as amostras. O *bailer* foi colocado no poço de monitoramento até a altura de encostar de forma superficial no nível da água, marcando no fio a fim de medir a altura do nível e se no *bailer* contivesse água, esta era descontada nas medidas. Posteriormente, por meio da colaboração de um topógrafo, foram obtidas as relações

topográficas entre os poços, medindo as cotas e transformando-as em cotas corrigidas para aplicação de cálculo. Com isso, elaborou-se um mapa potenciométrico e o sentido do fluxo das águas subterrâneas na área investigada foi constatado.

#### 4.2.3 Delimitação de pluma

As coordenadas geográficas de todos os pontos dos poços de monitoramento foram mapeadas e a medição de toda a área do galpão e do entorno foi realizada.

Com o auxílio do *software* QGIS versão 2.18, os resultados de cada uma das SQI definidas foram inseridos para gerar a delimitação dos contaminantes dissolvidos na água subterrânea. O *software* interpolou os dados dos pontos de amostragem de águas subterrâneas no plano horizontal considerando o limite da pluma interpolado a  $\frac{3}{4}$  da distância entre o ponto que apresentou concentrações acima do valor de investigação e o ponto com concentrações abaixo do valor de investigação, projetando sobre o mapa da área o foco das concentrações por meio de gradientes de cor, delimitando as plumas de contaminação para todas as substâncias químicas de interesse.

### 4.3 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Inicialmente, definiu-se os Cenários de Exposição válidos e constantes, e elaborou-se o Modelo Conceitual de Exposição, avaliando a área de entorno, as formas de exposição possíveis, as vias de ingresso, baseando nos cenários estabelecidos.

Em seguida, para análise da toxicidade e caracterização do risco, utilizou-se as planilhas presentes no site da CETESB. No arquivo disponibilizado, foram selecionadas as SQI pelo número CAS de cada parâmetro, preenchendo as lacunas em aberto nos campos onde não há proteção para edição.

Definido o Modelo Conceitual de Exposição e as SQI nas planilhas, foram inseridos também os dados das máximas concentrações encontradas para cada parâmetro que ultrapassou os limites da legislação, em mg/L, para água subterrânea. De forma automática, as planilhas forneceram as concentrações máximas aceitáveis, as quais foram comparadas com as máximas concentrações das SQI. Essas informações foram anotadas em uma tabela e comentadas em seguida. Os resultados da quantificação de risco foram gerados e sintetizados através de todas as informações fornecidas ao arquivo CETESB, sendo por fim, avaliados e discutidos por meio de tabelas.



- O solo da região é composto por lamas, areias biodetríticas, areias arcossianas e cascalhos, que se apresentam sobrepostos em função de episódios distintos de variações do nível do mar, característico de depósitos Flúvio-Deltaicos Marinhos (CPRM, 2014);

O modelo conceitual para a área de interesse foi elaborado com base na IN nº 74/2018 e é definido de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1– Modelo conceitual da área (MCA1)

<b>Identificação da área</b>	<b>Fontes primárias</b>	<b>Mecanismos primários de liberação</b>	<b>Fontes secundárias</b>	<b>Mecanismos secundários de liberação</b>	<b>Caminhos de transporte dos contaminantes</b>
Área de produção	Rachaduras nos tanques de produtos químicos	Infiltração no solo até as águas subterrâneas	Água subterrânea contaminada	Dispersão no meio	Solo e água subterrânea

Fonte: Autora, 2020.

No caso da área de estudo, sabe-se pela hidrologia local que os potenciais receptores de contaminação o Rio Tubarão, tal como o lençol freático em si que pode influenciar os residentes urbanos próximos que captam água por meio de um eventual poço artesiano.

Como foi possível identificar as fontes potenciais de contaminação existentes, mas não exatamente quais as substâncias químicas de interesse associadas a cada uma dessas fontes, definiu-se que a relação de substâncias químicas de interesse a serem investigadas levaria em consideração todas as possibilidades que existiam para a área. Ou seja, pensando no tipo de atividade exercida e nos tipos de empreendimentos e residências presentes no entorno da área, foram escolhidos todos os metais da resolução CONAMA nº 420/2009.

Conforme o que foi exposto, classificou-se a área de interesse como Área Suspeita de Contaminação (AS), sendo necessário confirmar quais contaminantes atingiram a área de estudo através de sondagens para análise de solo e água subterrânea.

### 5.1.1 Sondagens e amostragem de solo

O processo de sondagens ambientais ocorreu no dia 10 de março de 2017 e os procedimentos de execução das sondagens seguiram as especificações das normas exigidas.

A primeira sondagem ST-01 foi realizada no setor de galvanização; a ST-02 foi feita no setor de polimento; e a terceira sondagem denominada ST-03 localizou-se na entrada do galpão, sendo instalados em seguida, os poços de monitoramento PM-01, PM-02 e PM-03.

Durante a execução das sondagens foram descritas as características litológicas do perfil no geral, onde se observou heterogeneidade marcante no subsolo. Após o piso de concreto, constatou-se um horizonte de aterro de areia grossa mal selecionada composta de quartzo e feldspato. O solo sotoposto apresenta argila cinza esverdeada escura com umidade e plasticidade alta seguido de solo turfoso (tipo *fibrist*).

As amostras coletadas foram provenientes das sondagens (ST-01-2,2-2,5 m), (ST-02-2,2-2,5 m) e (ST-03-2,2-2,5 m), supervisionadas pelo engenheiro químico responsável e avaliadas pelos parâmetros de metais totais conforme a resolução CONAMA nº 420/2009.

Os laudos e cadeias de custódia não foram expostos neste relatório para evitar comprometimento de dados sigilosos do laboratório. Porém, os resultados analíticos das três amostras de solo coletadas e seu respectivo georreferenciamento estão apresentados no APÊNDICE A com a comparação dos valores máximos permitidos estabelecidos pela legislação, percebendo que nenhum dos parâmetros de metais totais ultrapassou os padrões.

As amostras apenas indicaram a presença de altas concentrações de alumínio (Al) e ferro (Fe) em todas as sondagens, mas estes metais não possuem padrão de referência. Elevadas concentrações desses metais acontecem por conta de uma particularidade natural do solo local uma vez que o horizonte amostrado corresponde a camada de argila cinza escura, típica de deposição de sedimentos com baixa energia, apresentando óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, característico de ambientes de planícies aluvionares. (COSTA *et. al*, 2010)

Além disso, sabe-se que é característico de solos formados em ambientes tropicais e subtropicais serem ricos em ambos os metais. Solos de intemperização intensa, chamados popularmente de solos velhos, são solos de maior ocorrência no Brasil, mais frequentes em regiões equatoriais e tropicais, apresentando de forma típica: “argilas com predominância de óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio, argilas de baixa atividade (baixa CTC), baixa saturação de bases e, normalmente acidez e teor de alumínio elevados”. (EMBRAPA, 201-?)

### **5.1.2 Poços de monitoramento e amostragem de águas subterrâneas**

Em relação à água subterrânea, os laudos e a cadeia de custódia atestando o recebimento das amostras pelo laboratório, metodologias de análise e laudos analíticos das amostras

coletadas também encontram-se fora deste documento para evitar comprometimento de dados do laboratório. A Figura 4 mostra os pontos de amostragem realizadas:

Figura 4 – Localização dos poços de monitoramento



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2020.

Com relação às análises de água subterrânea, os resultados comparados com os valores máximos permitidos (VMP) da Resolução CONAMA nº 420/2009 foram anotados no APÊNDICE B.

Pode-se perceber que no PM-01 as concentrações de alumínio (Al), cromo (Cr), ferro (Fe) e manganês (Mn) ultrapassaram os limites de qualidade da água subterrânea da investigação. O PM-02 apresentou concentrações acima do VMP para alumínio (Al), ferro (Fe), manganês (Mn) e níquel (Ni). E o PM-03 teve o VMP ultrapassado para os parâmetros de alumínio (Al), chumbo (Pb), cromo (Cr), ferro (Fe) e níquel (Ni).

As elevadas concentrações de alumínio e o ferro devem-se possivelmente por consequência do solo que é rico nestes metais. Segundo Macêdo (2002 *apud* Ghanem, 2009), “o ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico na água. O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente é encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro”.

Em virtude de afinidades geoquímicas, o manganês também se apresenta bem presente uma vez que este metal e ferro estão quase sempre acompanhados. (GHANEM, 2009, p.49)

O PM-03 ter evidenciado teores acima do padrão para chumbo e níquel pode indicar que sejam devido ao próprio solo local também. O desvio encontrado entre os valores dos laudos e dos valores padrões da Resolução CONAMA nº 420/2009 foi de 25 a 50%, o que pode ser esclarecido pela hipótese das camadas do solo que se dissolvem na água. Neste caso, de acordo

com Lee (1996, p. 406), o níquel está associado geralmente em compostos de sulfetos de ferro e cobre e em depósitos aluviais de silicatos e óxidos/hidróxidos, como explicitado anteriormente que existe na região. O chumbo, segundo Kabata-Pendias (2001 *apud* Fortunato, 2009, p.10), é fortemente adsorvido à matéria orgânica e, como descrito nas sondagens, existe uma camada de turfa preta rica em matéria orgânica.

Os demais parâmetros que ultrapassaram mais de 100% acima dos VMP são atribuídos em conjunto como interferência do processo da atividade, pois raramente encontram-se estes sais metálicos em águas naturais nas concentrações evidenciadas.

Outra observação importante é em relação ao fluxo do lençol freático. Provavelmente acreditava-se que seria no sentido do PM-03 até o rio Tubarão, mas como o PM-03 foi o que apresentou o maior número de parâmetros de metais totais fora dos padrões da legislação, então existia a possibilidade de o fluxo não seguir esta direção.

Desse modo, de acordo com os resultados apresentados, a área da atividade mostrou-se impactada no geral pelos metais alumínio (Al), chumbo (Pb), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn) e níquel (Ni), classificando a área de interesse como Área Contaminada Sob Investigação (ACI) e sendo preciso detalhar mais afundo através da Investigação Detalhada.

## 5.2 INVESTIGAÇÃO DETALHADA

Foi necessário revisar todo o caso a fim de inteirar-se sobre as informações e fazer diversas investigações na área.

### 5.2.1 Sondagens e amostragem de águas subterrâneas

As sondagens foram acompanhadas por um geólogo e sua equipe nos dias 7 e 8 de abril de 2020, sob condições climáticas favoráveis, ensolarado e temperatura de 13 °C.

Embora a Investigação Confirmatória não tivesse indicado contaminantes no solo em 2017, foi importante verificar durante as sondagens as características organolépticas, como a estrutura, textura, cor e cheiro do solo. Mas não houve evidências que indicassem a presença de contaminantes metálicos nas camadas do solo.

Verificou-se após uma investigação na área da empresa que haviam mais pontos de monitoramento do que apenas os três analisados na Investigação Confirmatória e pôde-se observar que já tinham sido feitos oito poços de monitoramento dentro do galpão e no entorno do galpão da atividade, provavelmente feitos no período após a Investigação Confirmatória.

Além dessas, foram instalados mais três novos poços de monitoramento localizados próximos aos banhos químicos e ao fundo da área de polimento, totalizando assim 11 poços. A localização dos 3 novos poços de monitoramento teve o intuito de pontuar as substâncias químicas de interesse. Por esse motivo, os poços de monitoramento foram renomeados e esquematizados conforme Figura 5.

Figura 5 – Localização dos poços de amostragem



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2020.

Visto que a última investigação foi realizada em 2017, decidiu-se que a amostragem dos poços de monitoramento incluiria todos os parâmetros da Investigação Confirmatória para uma reanálise geral. Mais uma vez para evitar qualquer comprometimento de dados sigilosos do laboratório, não foram colocados os laudos e cadeias de custódia das análises.

Os resultados obtidos foram comparados com a resolução CONAMA nº 420/2009 e expostos no APÊNDICE C, sendo possível observar por meio de marcações em vermelho que todos os poços de monitoramento apresentaram alguma anormalidade e indicaram também outros parâmetros de contaminação daqueles vistos na Investigação Confirmatória.

Comparando as duas investigações com os mesmos poços da investigação anterior, parâmetros como alumínio, chumbo, cromo, manganês e níquel diminuíram os níveis de concentração o que supostamente deve-se ao fluxo das águas subterrâneas que lixiviaram estes metais dissolvidos. Em contrapartida, surgiram contaminações novas como de arsênio e a concentração de ferro aumentou em certos pontos.

Os poços PM-01 e PM-10 são os que apresentam mais parâmetros excedendo os limites estabelecidos pela legislação, totalizando 8 e 5 parâmetros, respectivamente. Uma possível causa para o PM-10 ser o epicentro das contaminações pode ser porque este é próximo ao local onde a canalização subterrânea direcionava os respingos do processo das canaletas ao redor dos banhos químicos.

É importante notar que os metais alumínio, cobalto, mercúrio e selênio são contaminações pontuais na região, ocorrendo apenas no PM-01. Por outro lado, ferro, manganês e níquel, estão presentes em mais de 70% dos poços amostrados.

Novamente, os pontos que apresentaram elevados teores de ferro podem ser fundamentados pelo fato de a região apresentar concentrações de ferro em concentrações expressivas, sendo esta uma característica hidrogeológica. Naturalmente as águas de poços profundos apresentam qualidade química com teores de ferro elevados. (MACHADO, 2014)

Já as concentrações de arsênio são explicadas pela mobilidade e transformação de suas espécies em águas subterrâneas, sendo controladas pelo pH, matéria orgânica dissolvida e presença de compostos adsorventes como óxidos e hidróxidos de Fe (III), Al (III), Mn (III/ IV), substâncias húmicas e argila minerais. (HERATH *et. al*, 2016)

Os demais metais totais como cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) não podem ter explicações naturais com a concentração em que foram identificados, justificados pela utilização em ligas para proteção contra corrosão.

Por fim, com base nesses resultados, compôs-se o Modelo Conceitual 2 (MCA 2), demonstrado pelo Quadro 2 o que foi desenvolvido:

Quadro 2 – Modelo conceitual da área (MCA 2)

<b>Identificação da área</b>	<b>Fontes primárias</b>	<b>Mecanismos primários de liberação</b>	<b>Fontes secundárias</b>	<b>Mecanismos secundários de liberação</b>	<b>Caminhos de transporte dos contaminantes</b>
Área de produção: Canalização subterrânea e tanques químicos danificados	Solo contaminado	Infiltração até as águas subterrâneas	Água subterrânea contaminada	Dispersão no meio	Solo e água subterrânea

Fonte: Autora, 2020.

Sabendo que a atividade se encontra desativada e que mesmo depois de 3 anos ainda há contaminação nas águas subterrâneas, concluiu-se que a fonte de contaminação está na canalização a qual direcionava os líquidos derramados na área de produção que provavelmente encontrar-se danificada ou corroída devido à falta de manutenção, além dos tanques químicos que devem apresentar rachaduras, o que acaba contaminando o solo em volta e lixiviando para água subterrânea por meio de dispersão.

Conclui-se então que as águas subterrâneas estão impactadas pela contaminação dos metais totais: alumínio (Al), arsênio (Ar), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn).

### 5.2.2 Levantamento topográfico

Com o intuito de estabelecer as cargas hidráulicas nos poços de monitoramento e confirmar o sentido das águas subterrâneas, o levantamento planialtimétrico foi feito por meio da correlação planialtimétrica entre os 11 pontos de medição (TEIXEIRA, 2013). Fez-se as medições dos níveis estáticos de água e os valores foram anotados e registrados no Quadro 3 juntamente com os valores das cotas medidas pelo topógrafo.

Quadro 3 – Medições feitas para averiguar sentido do lençol freático

PM	UTM E	UTM S	Cota (m)	Nível Estático (m)	Carga Hidráulica (m)
01	696696	6849434	100	1,65	98,35
02	696716	6849448	100,35	2,11	98,24
03	696717	6849430	100,11	1,58	98,53
04	696709	6849410	100,16	2,31	97,85
05	696720	6849398	100,38	2,81	97,57
06	696725	6849411	100,43	1,8	98,63
07	696728	6849405	100,51	1,8	98,71
08	696738	6849411	100,67	1,96	98,71
09	696743	6849420	100,66	1,96	98,7
10	696731	6849421	100,62	1,98	98,64
11	696728	6849434	100,53	1,95	98,58

Fonte: Autora, 2020.

O mapa de cargas hidráulicas foi realizado através do cálculo da carga hidráulica subtraindo o nível d'água (NA) ou nível estático de cada um dos poços de monitoramento das cotas realizadas pelo topógrafo, considerando que foram medidos a partir da mesma relação. Definido isto, tem-se as cotas hidráulicas e o fluxo subterrâneo é dado da maior carga hidráulica

para a menor, observado pela Figura 6, sendo possível observar que o sentido do lençol freático encaminha-se do PM-10 ao longo dos PM-02 e PM-05, isto é, de leste a oeste.

Figura 6 – Mapa potenciométrico



Fonte: Autora, 2020.

### 5.2.3 Delimitação de pluma

A instalação de novos poços de monitoramento objetivou a delimitação da contaminação no aquífero livre local de forma mais definida para o fechamento das plumas no plano horizontal. A definição das plumas baseia-se no detalhamento dos pontos em que foram encontradas contaminações, isto é, sabendo o curso das águas subterrâneas, mapeia-se a extensão e direção da pluma de acordo com determinado tipo de contaminação.

As plumas de contaminação foram feitas em cima das plantas do empreendimento para que indicassem visualmente a extensão das plumas pelos pontos dos poços de monitoramento, sendo exibidas no APÊNDICE D em um quadro juntamente com gráficos para melhor percepção de qual poço de monitoramento provinha a contaminação.

O centro de massa (*hot spot*) da pluma de contaminação delimitada para as substâncias químicas de interesse foram definidos e apresentam cores escuras e, ao longo da diminuição de concentração, os tons ficam mais claros, proporcionado pela interpolação dos 11 pontos de coleta. Notou-se que as plumas de contaminação avançam para áreas no mapa onde predominam casas e prédios vizinhos, podendo causar riscos a população e será levado em consideração para Avaliação de Risco à Saúde Humana.

Conforme o plano da Instrução Normativa nº 74/2018, devido à contaminação evidenciada com valores acima de limites de investigação para águas subterrâneas, conforme resolução CONAMA nº 420/2009, segue-se para Avaliação de Risco para saber se essas contaminações exigem medidas de intervenção.

### 5.3 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

Segundo a norma ABNT NBR 16.210:2013, a fim de compreender os aspectos que podem causar risco à saúde humana, o Modelo Conceitual de Exposição é inicialmente elaborado visando uma sintetização das informações referentes à área de interesse, incluindo os caminhos de exposição, a forma de transporte, as fontes possíveis e os receptores potenciais que podem ser expostos a qualquer tipo de dano contaminante.

Conforme observado na Investigação Detalhada, as concentrações de alumínio (Al), arsênio (Ar), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn) encontram-se acima do valor de previsto pela Resolução CONAMA nº 420/2009, consideradas então as SQI que foram inseridas nas planilhas CETESB. Por estarem presentes nas águas subterrâneas, uma das vias de exposição consideradas foi a ingestão de água e contato dermal com água subterrânea pelos residentes urbanos, pois é possível que nas residências do entorno da atividade as pessoas entrem em contato indiretamente com a contaminação através poços artesanais.

Os cenários de exposição são previstos com a finalidade de criar um plano de intervenção, correção e contenção. Visto que as atividades foram suspensas, os residentes e trabalhadores da área de entorno, receptores residenciais e comerciais, não estão diretamente expostos ao solo ou água subterrânea contaminados no local. A única forma de exposição de contato direto com o solo e com a água subterrâneas contaminados seria dentro do galpão.

Assim, este modelo foi elaborado através do molde presente nas planilhas da CETESB e exposto no APÊNDICE E.

A tabela presente no APÊNDICE F é composta pelas máximas concentrações de cada SQI determinada, juntamente com as concentrações máximas aceitáveis (CMA) calculadas para determinada via de exposição considerada a fim de quantificar os riscos.

Observando os resultados obtidos, foi possível perceber que os parâmetros de arsênio e cobalto apresentaram concentrações acima das CMAs, mostrando em vermelho que os cenários mais críticos identificados na aplicação das planilhas da CETESB para as contaminações de arsênio e cobalto, refletem diretamente na quantificação em sequência.

Os riscos foram quantificados e expostos no ANEXO A. Conforme a Resolução CONAMA nº 420/2009, neste procedimento fica definido o índice de até  $10^{-5}$  como Risco Aceitável para exposição humana a substâncias cancerígenas, indicando que é aceitável que aconteça um caso de câncer em cada 100.000 pessoas dentre a população exposta e 1 como Quociente de Risco para as substâncias não cancerígenas, ou seja, índices acima de 1 apontam propensão a desenvolver efeitos adversos agudos (DRUSZCZ, 2017).

De acordo com Druszcz (2017, p. 44):

Teoricamente, não é possível prever um nível de exposição a uma substância, que se qualifique como seguro em relação ao risco de desenvolvimento de câncer. Assume-se que mesmo uma pequena quantidade da SQI pode provocar uma mudança celular e desencadear a proliferação de células danificadas, resultando em um câncer.

Destes metais, o arsênio encontrou-se acima dos níveis aceitáveis para os cenários de contato dérmico para adultos ( $1,07 \times 10^{-5}$  – efeito carcinogênico) e para ingestão tanto para crianças ( $2,42 \times 10^{-4}$  e 6,45 – efeito carcinogênico e não-carcinogênico) quanto adultos ( $5,18 \times 10^{-4}$  e 2,77 – efeito carcinogênico e não-carcinogênico). Destaca-se ainda que o arsênio foi evidenciado com registros de ocorrências em que a ingestão de água contendo arsênio resulta na produção de câncer de pele, além de possuir elevada ação tóxica, afetando o sistema nervoso periférico, originando lesões cutâneas, vasculares e hematológicas (anemias) graves e malformações congênitas. (VALENZUELA, 1999; DUARTE, CARDOSO, ALÇADA, 2008)

Já o cobalto permaneceu acima dos índices aceitáveis para o cenário de ingestão para crianças (7,63) quanto adultos (3,27) sem efeitos carcinogênicos e, apesar de ser um nutriente bastante essencial, quando ingerido em maiores quantidades, pode causar efeitos como náusea, vômito, diarreia, sendo possível provocar diversas doenças de carácter irreversível como cegueira e problemas auditivos. No caso de efeito carcinogênico, foi comprovado que apenas quando em contato direto com a pele. (CETESB, 2017; VALENZUELA, 1999)

É interessante observar que metais que poderiam ser extremamente prejudiciais a saúde humana conhecendo o histórico de envenenamentos e lembrando que pela Resolução CONAMA nº 420/2009 apresentam-se com limites mínimos, como por exemplo o mercúrio, não têm valores disponíveis (ND) para avaliação de riscos. Além disso, uma das dificuldades enfrentadas durante o exercício das planilhas CETESB, foi a falta de manual de orientação.

Através do que foi comprovado por esta avaliação de risco, sabe-se então que é requerido um plano de intervenção, focando nos metais arsênio e cobalto.

## 6 CONCLUSÃO

Foi possível analisar a área de contaminação de uma indústria desativada de cromagem e zincagem, apresentando as etapas de gerenciamento de áreas contaminadas através da Instrução Normativa nº 74/2018 do IMA e focando na Investigação Detalhada e Avaliação de Risco à Saúde Humana para completar o diagnóstico da área.

Quanto aos resultados dos parâmetros de metais totais, conforme a Resolução CONAMA nº 420/2009, definiu-se que a área encontra-se impactada pelos metais totais: alumínio (Al), arsênio (Ar), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn), observando que diversas das concentrações que excederam os padrões da legislação são causadas pela própria hidrogeologia do local, como o alumínio, ferro e manganês. Porém, para os resultados de cromo, cobalto, níquel e zinco, por exemplo, a característica físico-química dos metais e a geomorfologia local não conseguiram explicar de forma natural a presença destas substâncias nas águas subterrâneas, sendo a atividade a real fonte dessas concentrações incomuns.

Em relação a delimitação das plumas horizontais de contaminação dos parâmetros que ultrapassaram os padrões da legislação, foi possível mapear as substâncias químicas de interesse dissolvidas, percebendo o transporte desses compostos pela variação dos tons de cores e servindo de auxílio para Avaliação de Risco à Saúde Humana.

A análise de risco indicou a contaminação de arsênio (Ar) com efeito carcinogênico para via oral (ingestão) em receptores crianças ( $2,42 \times 10^{-4}$ ) e adultos ( $5,18 \times 10^{-4}$ ), e contato dérmico apenas para receptores adultos ( $1,07 \times 10^{-5}$ ); e para os efeitos não-carcinogênicos, a contaminação de cobalto (Co) para o receptores crianças (7,63) e adultos (3,27) via ingestão, e arsênio (Ar) por meio do cenário de ingestão de crianças (6,45) e adultos (2,77), com índices acima do aceitável.

Dessa forma, propõe-se formas de intervenção com base na Avaliação de Risco à Saúde Humana, que consiste em remover o material químico dos tanques a fim de cessar a fonte de contaminação, organizar os materiais e embalagens químicas do galpão da empresa e finalmente um monitoramento semestral através de coletas de amostras dos poços de monitoramento, analisando a variação das concentrações dos parâmetros determinados (SQI).

Portanto, a fim de conseguir o Termo de Encerramento da atividade, o trabalho prossegue com o Plano de Intervenção, deixando a área em estado de atenção por intermédio do monitoramento até que o risco seja considerado tolerável.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.515-1**: passivo ambiental em solo e água subterrânea: Parte 1: Avaliação preliminar. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 47 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.515-2**: passivo ambiental em solo e água subterrânea: parte 2: Investigação confirmatória. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16.210**: modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas: procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. 4 p.

BORGO, Simone Canfield. **Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento**. 2005. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 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. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 18 mar. 2020.

CATHCART, Diego. **Avaliação de risco à saúde humana no gerenciamento de áreas contaminadas e a sua mitigação por meio de medidas de controle**. 2017. 49 f. Monografia (especialização) – Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/2710/TCCDiegoCathcart.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 mai. 2020.

CETESB, São Paulo. **Ficha de informação toxicológica: Cobalto**. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental, São Paulo, p. 1-2, mar. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cobalto.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2020.

CETESB, São Paulo. **O que são áreas contaminadas**. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/o-que-sao-areas-contaminadas/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

CETESB, São Paulo. **Planilhas para Avaliação**: Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avaliacao/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

COSTA, Adivane Terezinha et al. **Análise estratigráfica e distribuição do arsênio em depósitos sedimentares quaternários da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, bacia do Ribeirão do Carmo, MG**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 63, n. 4, p. 703-714, Dec. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672010000400017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000400017&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 26 maio 2020.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17996?show=full>. Acesso em: 13 abr. 2020.

DRUSZCZ, Mariana Barbosa. **Avaliação de ferramentas de Avaliação de Risco À Saúde Humana aplicadas em uma área contaminada com percloroetileno (PCE) e tricloroetileno (TCE)**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/61420/R%20-%20D%20-%20MARIANA%20BARBOSA%20DRUSZCZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 jun. 2020.

DUARTE, António A. L. Sampaio; CARDOSO, Sílvia J. A.; ALÇADA, António J. **Remoção de arsénio em sistemas de abastecimento de água: um caso de estudo**. *Águas & Resíduos*, [s. l.], ano 2009, p. 28-37, jan.-abr. 2009. Disponível em: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16977/1/ASDuarte09\\_06\\_RNE.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16977/1/ASDuarte09_06_RNE.pdf). Acesso em: 29 jun. 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Latossolos**. Brasília, 201-?. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_11\\_2212200611540.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_11_2212200611540.html). Acesso em: 13 abr. 2020.

FEITOSA, Isabelle Ramos et al. **Manual de licenciamento ambiental: guia de procedimentos passo a passo**. 2004. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/cart\\_sebrae.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/cart_sebrae.pdf). Acesso em: 22 mar. 2020.

FORTUNATO, Janaina Mara. **Comportamento dos íons chumbo, cobre, níquel e zinco em área de manguezal associado a antigo lixão no município de Santos - SP**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GHANEM, Monique Amin. **Avaliação da qualidade da água subterrânea em Joinville, SC e seus riscos à saúde**. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde e Meio Ambiente, Universidade da Região de Joinville – Univille, Joinville, 2009. Disponível em: [https://www.univille.edu.br/community/mestrado\\_saude\\_meio\\_ambiente/VirtualDisk.html/downloadDirect/187226](https://www.univille.edu.br/community/mestrado_saude_meio_ambiente/VirtualDisk.html/downloadDirect/187226). Acesso em: 13 mai. 2020.

GUIMARÃES, Mariana Bulcão. **A Importância do Tratamento de Efluentes em Indústrias Galvanotécnicas**. 2014. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2014. Disponível em: <http://docplayer.com.br/13815748-Universidade-estadual-da-paraiba-centro-de-ciencias-e-tecnologia-curso-de-graduacao-em-quimica-industrial.html>. Acesso em: 21 mai. 2020.

HERATH, Indika *et al.* **Natural Arsenic in Global Groundwaters: Distribution and Geochemical Triggers for Mobilization**. *Water pollution, Austrália*, v. 2, p. 68-89, 8 mar. 2016. DOI 10.1007/s40726-016-0028-2.

IMA, Instituto do Meio Ambiente. **Enunciado nº 02: Plano de encerramento de atividades e empreendimentos licenciáveis**. 2018. Disponível em: <http://www.ima.sc.gov.br/images/Enunciado%20IMA%2002.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2020.

IMA, Instituto do Meio Ambiente. **IN nº 74: Recuperação de Áreas Contaminadas**. IN - 7. Florianópolis: IMA, 2018. 74 p. Disponível em: [www.ima.sc.gov.br](http://www.ima.sc.gov.br). Acesso em: 9 mar. 2020.

KABATA-PENDIAS, Alina; PENDIAS, Henryk. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. 403 p.

LEE, J.D. **Química inorgânica não tão concisa**. 1996. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blicher Ltda. 452 p.

LUTTER, Erich. 1.1 O recinto de trabalho. In: GALVANOTECHNIK (org.). **Galvanotécnica prática**. São Paulo: Editora Polígono S.A., 1973. Cap. 1. p. 3-7.

MACÊDO, J. A. B de. **Introdução a Química Ambiental** (Química e Meio Ambiente e Sociedade). 1 ed. Juiz de Fora, MG: Jorge Macêdo, 2002.

MACHADO, José Luiz Flores. **Unidades hidroestratigráficas do estado de Santa Catarina**. Águas Subterrâneas, 2014. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/28251/18369>. Acesso em: 18 jun. 2020.

MORAES, Sandra Lúcia de, TEIXEIRA, Cláudia Echevengua, MAXIMIANO, Alexandre Magno de Sousa. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: Ipt e Bndes, 2014. 398 p.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente – INEA (org.). **Galvanoplastia: orientações para o controle ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Secretaria do Ambiente, 2014. 46 p. (Gestão Ambiental). ISSN 2178-4353. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/6-Galvanoplastia-2%C2%AA-ed..pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SANTA CATARINA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina. **Recursos hídricos de Santa Catarina**. Florianópolis: SDS, Rui Batista, Vinicius Tavares Constante, 201-?. Disponível em: [http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/bacias\\_hidrograficas/bacias\\_hidrograficas\\_sc.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/bacias_hidrograficas/bacias_hidrograficas_sc.pdf). Acesso em: 31 mar. 2020.

TEIXEIRA, Marianne Rachel Abreu. **Etapas de uma avaliação ambiental em área potencialmente contaminada – Investigação Preliminar, Confirmatória e Detalhada**. 2013. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica & Escola de Química Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 128 p.

VALENZUELA, Júlio César. **Tratamento de efluentes em indústrias galvanotécnicas**. Guarulhos: Páginas & Letras, 1999. 123 p.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – Resultados comparativos de solo da investigação confirmatória**

Tabela de resultados analíticos de solo – Metais totais					
Parâmetros SQI (metais totais)	VMP*	Unidade	ST-01	ST-02	ST-03
			696696.0 E 6849434.0 S	696725.0 E 6849411.0 S	696717.0 E 6849448.0 S
Alumínio total	-	mg/Kg	13480,8	15295,7	17932,1
Antimônio total	<b>10</b>	mg/Kg	1,3	1,3	1,5
Arsênio total	<b>55</b>	mg/Kg	2,6	3,1	2,8
Bário total	<b>500</b>	mg/Kg	35,3	44,8	46,1
Boro total	-	mg/Kg	nd	nd	nd
Cádmio total	<b>8</b>	mg/Kg	nd	nd	nd
Chumbo total	<b>300</b>	mg/Kg	5,8	6,0	6,5
Cobalto total	<b>65</b>	mg/Kg	8,6	9,3	12,7
Cobre total	<b>400</b>	mg/Kg	15,8	16,0	22,7
Cromo total	<b>300</b>	mg/Kg	11,4	10,2	10,9
Ferro total	-	mg/Kg	17639,7	19270,3	21453,7
Manganês total	-	mg/Kg	171,7	169,8	134,5
Mercurio total	<b>36</b>	mg/Kg	nd	nd	nd
Molibdênio total	<b>100</b>	mg/Kg	nd	nd	nd
Níquel total	<b>100</b>	mg/Kg	11,1	11,2	15,0
Prata total	<b>50</b>	mg/Kg	nd	nd	nd
Selênio total	-	mg/Kg	nd	nd	nd
Vanádio total	-	mg/Kg	32,7	33,0	39,4
Zinco total	<b>1000</b>	mg/Kg	44,5	63,6	55,0

\*VMP – Valores máximos permitidos de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009 (qualidade do solo para ambiente residencial)

nd – não detectado

Sondagens georreferenciadas em coordenadas UTM

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE B – Resultados comparativos de água subterrânea da investigação  
confirmatória**

Tabela de resultados analíticos de água subterrânea – Metais totais					
Parâmetros SQI (metais totais)	VMP*	Unidade	PM-01	PM-02	PM-03
			696696.0 E 6849434.0 S	696725.0 E 6849411.0 S	696717.0 E 6849448.0 S
Alumínio total	<b>3,5</b>	mg/L	<b>5,06</b>	1,757	<b>36,12</b>
Antimônio total	<b>0,005</b>	mg/L	nd	nd	nd
Arsênio total	<b>0,01</b>	mg/L	<0,006	<0,006	0,007
Bário total	<b>0,7</b>	mg/L	0,188	0,555	0,282
Boro total	<b>0,5</b>	mg/L	0,109	0,344	0,3
Cádmio total	<b>0,005</b>	mg/L	nd	nd	< 0,003
Chumbo total	<b>0,01</b>	mg/L	0,007	< 0,006	<b>0,015</b>
Cobalto total	<b>0,07</b>	mg/L	0,011	0,036	0,012
Cobre total	<b>2,0</b>	mg/L	0,009	0,027	0,034
Cromo total	<b>0,05</b>	mg/L	<b>0,068</b>	< 0,006	<b>0,06</b>
Ferro total	<b>2,45</b>	mg/L	<b>7,046</b>	<b>3,362</b>	<b>22,6</b>
Manganês total	<b>0,4</b>	mg/L	<b>0,506</b>	<b>2,482</b>	0,239
Mercúrio total	<b>0,001</b>	mg/L	nd	nd	nd
Molibdênio total	<b>0,07</b>	mg/L	nd	nd	0,009
Níquel total	<b>0,02</b>	mg/L	0,013	<b>0,097</b>	<b>0,025</b>
Prata total	<b>0,05</b>	mg/L	nd	nd	nd
Selênio total	<b>0,01</b>	mg/L	nd	< 0,006	< 0,006
Vanádio total	-	mg/L	0,02	< 0,015	0,123
Zinco total	<b>1,05</b>	mg/L	0,063	0,175	0,322
pH	-	-	6,66	6,3	9,36

\*VMP – Valores máximos permitidos de acordo com a Resolução CONAMA n° 420/2009 (qualidade de água subterrânea para investigação)  
nd – não detectado  
Valores em vermelho referem-se a valores acima do padrão exigido pela legislação  
PMs georreferenciados em coordenadas UTM

Fonte: Autora, 2020.

### APÊNDICE C – Resultados comparativos da investigação detalhada

Tabela de resultados analíticos de água subterrânea – Metais totais													
Parâmetros	VMP	Unidade	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	PM 10	PM 11
			696696 E 6849434 S	696716 E 6849448 S	696717 E 6849430 S	696709 E 6849410 S	696720 E 6849398 S	696725 E 6849411 S	696728 E 6849405 S	696738 E 6849411 S	696743 E 6849420 S	696731 E 6849421 S	696728 E 6849434 S
Alumínio Total	<b>3,5</b>	mg/L	5,4	0,8	0,7	< 0,2	< 0,2	0,6	0,3	1,6	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Antimônio Total	<b>0,005</b>	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Arsênio Total	<b>0,01</b>	mg/L	0,093	< 0,008	0,016	< 0,008	< 0,008	0,013	0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Bário Total	<b>0,7</b>	mg/L	0,1	0,23	0,25	0,54	0,28	0,35	0,44	0,23	0,14	0,91	0,15
Boro Total	<b>0,5</b>	mg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,2	0,4	< 0,2	0,4	< 0,2	< 0,2	0,5	< 0,2
Cádmio Total	<b>0,005</b>	mg/L	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,016	< 0,001
Chumbo Total	<b>0,01</b>	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobalto Total	<b>0,07</b>	mg/L	0,11	0,01	0,06	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05	0,02
Cobre Total	<b>2</b>	mg/L	0,53	< 0,01	0,02	0,01	< 0,01	0,06	0,02	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
Cromo Total	<b>0,05</b>	mg/L	0,09	< 0,05	0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,19	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ferro Total	<b>2,45</b>	mg/L	20,0	2,3	28,1	29,2	0,9	4,5	14	0,8	2,4	0,2	3,7
Manganês Total	<b>0,4</b>	mg/L	0,238	0,498	0,061	5,311	0,55	0,129	2,282	0,542	0,492	4,152	0,295
Mercúrio Total	<b>0,001</b>	mg/L	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Molibdênio Total	<b>0,07</b>	mg/L	0,02	< 0,01	0,05	0,02	0,01	0,02	< 0,01	0,02	0,01	0,03	0,04
Níquel Total	<b>0,02</b>	mg/L	0,32	0,01	0,06	0,02	0,02	0,05	0,05	0,04	0,01	0,14	0,02
Prata Total	<b>0,05</b>	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Selênio Total	<b>0,01</b>	mg/L	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Vanádio Total	-	mg/L	0,33	< 0,02	0,52	0,14	< 0,02	0,3	0,2	0,13	0,2	0,17	0,14
Zinco Total	<b>1,05</b>	mg/L	0,2	< 0,1	0,4	< 0,1	< 0,1	0,4	< 0,1	2,3	< 0,1	1,2	< 0,1
pH	-	-	6,9	6,7	6,8	6,9	6,9	6,6	6,8	6,7	6,9	6,9	6,6

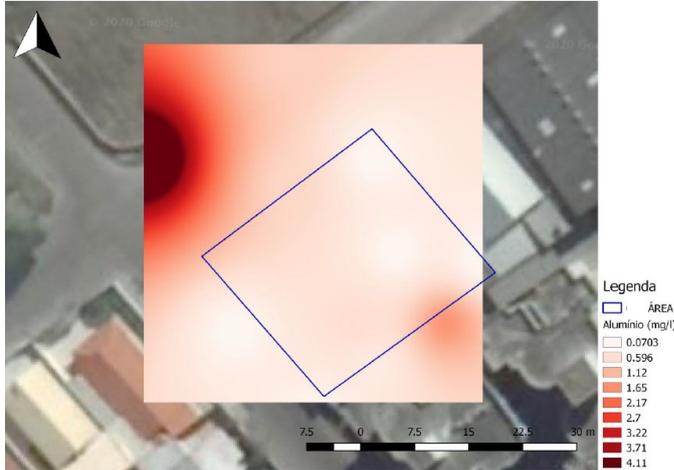
\*Valores máximos permitidos (VMP) de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009 / PMs georreferenciados em coordenadas UTM / Valores em vermelho referem-se a valores acima do padrão exigido pela legislação

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE D – Plumas de contaminação**

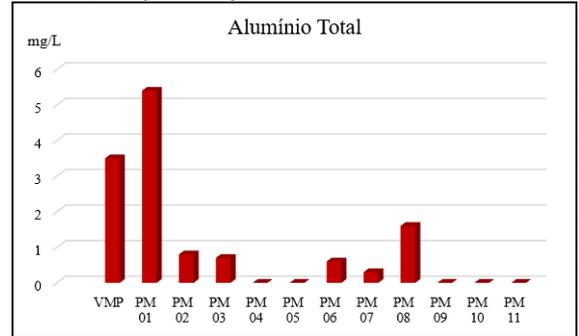
**Quadro de plumas de contaminação e gráficos demonstrativos dos parâmetros que ultrapassaram os valores máximos permitidos da resolução CONAMA n° 420/2009**

**1) Alumínio total**



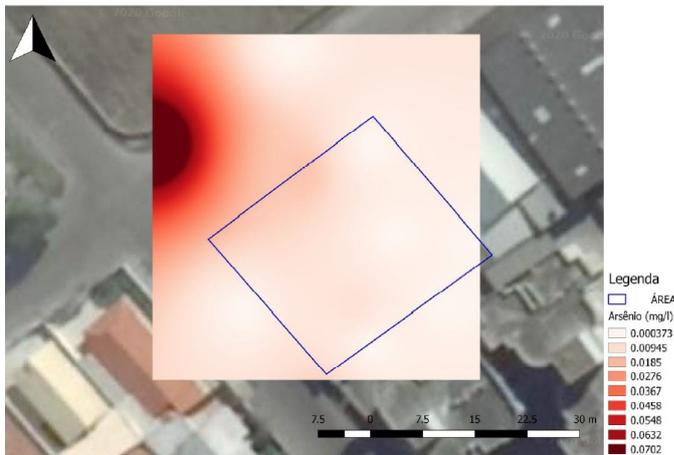
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 1 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro alumínio total



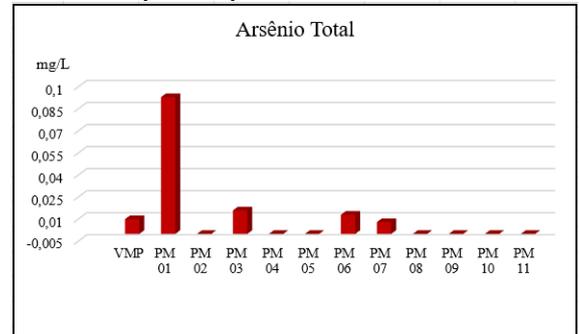
Fonte: Autora, 2020.

**2) Arsênio total**



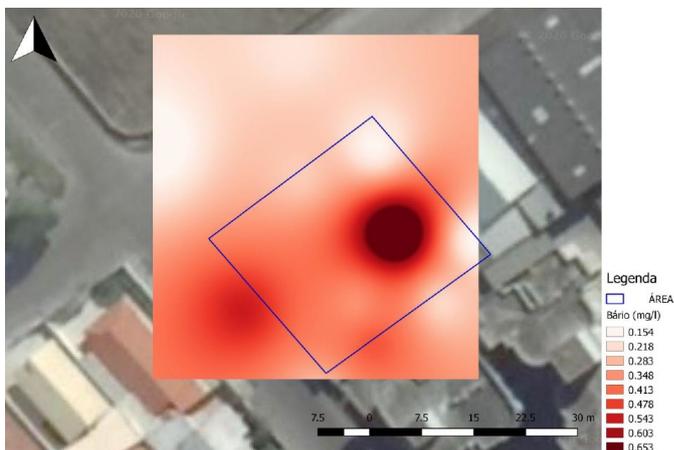
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 2 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro arsênio total



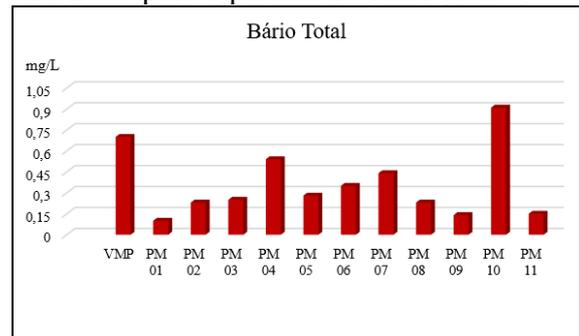
Fonte: Autora, 2020.

**3) Bário total**



Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 3 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro bário total



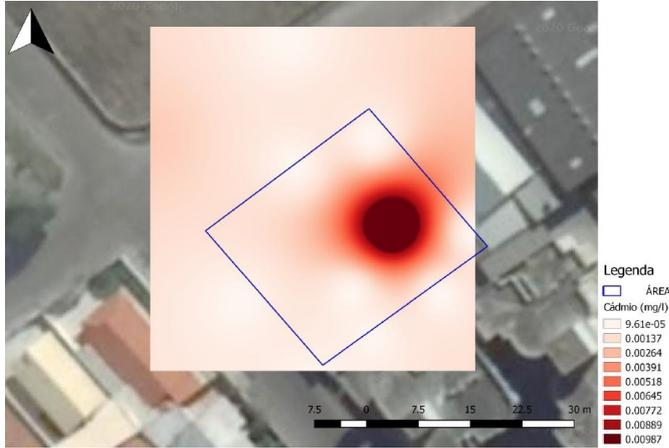
Fonte: Autora, 2020.

**ANEXO E – Plumas de contaminação**

(continua)

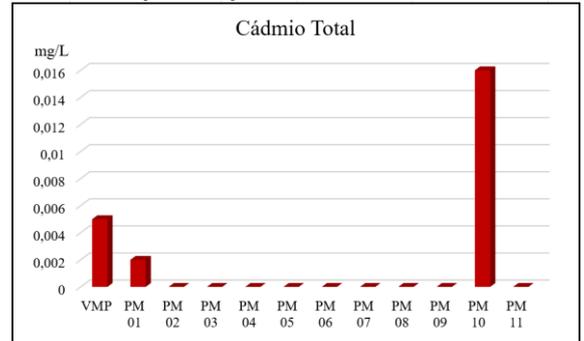
**Quadro de plumas de contaminação e gráficos demonstrativos dos parâmetros que ultrapassaram a resolução CONAMA n° 420/2009**

**4) Cádmio total**



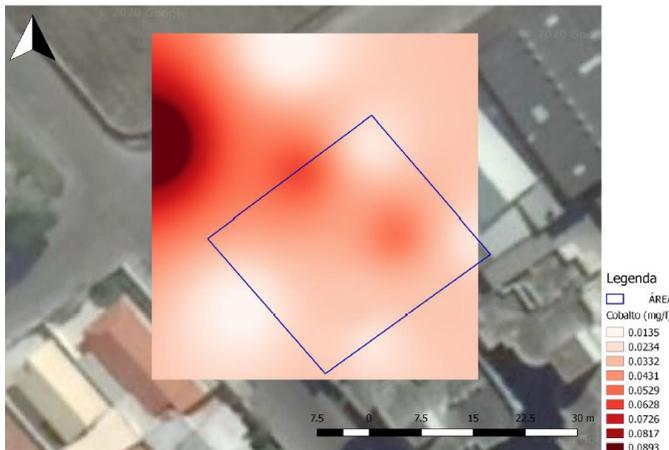
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 4 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro cádmio total



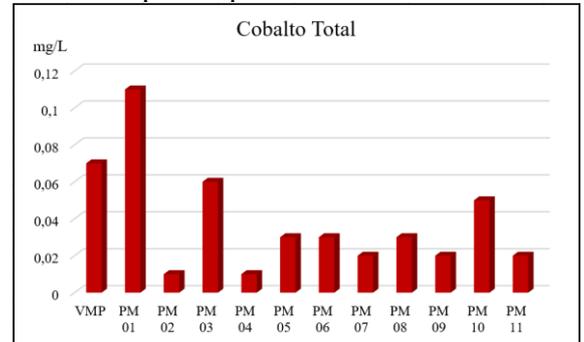
Fonte: Autora, 2020.

**5) Cobalto total**



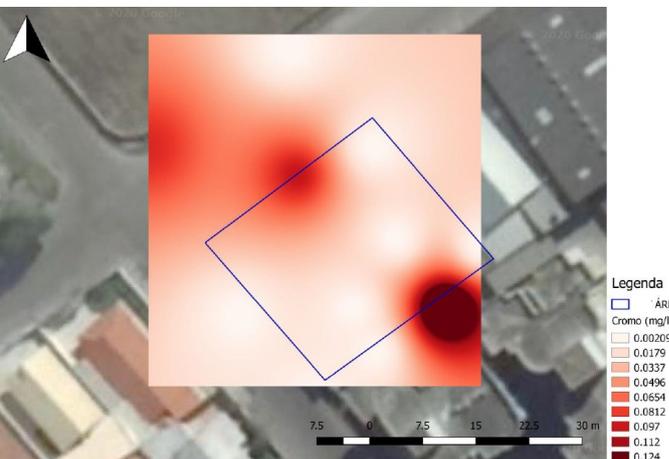
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 5 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro cobalto total



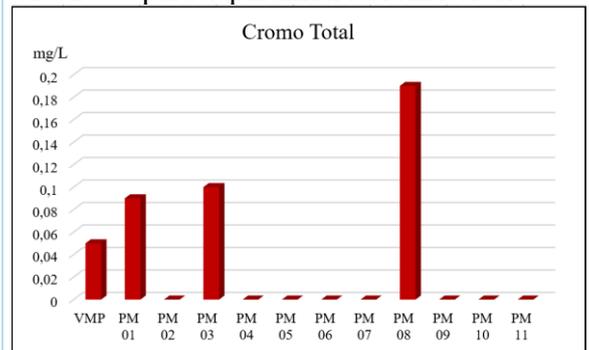
Fonte: Autora, 2020.

**6) Cromo total**



Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 6 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro cromo total



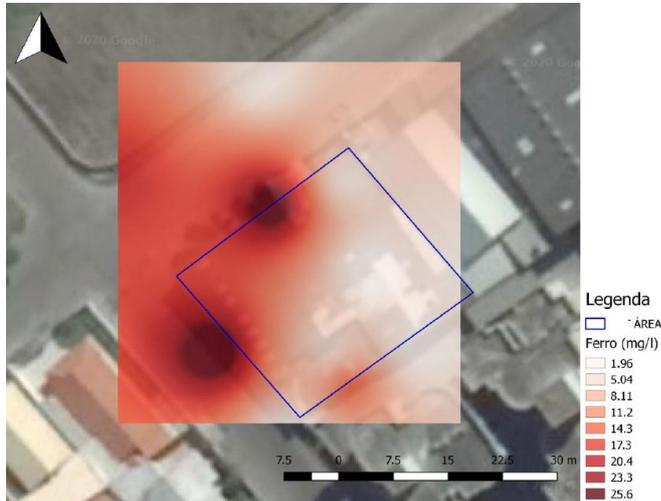
Fonte: Autora, 2020.

**ANEXO E – Plumas de contaminação**

(continua)

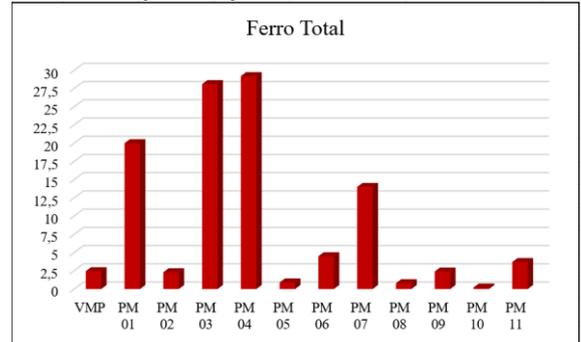
**Quadro de plumas de contaminação e gráficos demonstrativos dos parâmetros que ultrapassaram a resolução CONAMA n° 420/2009**

**7) Ferro total**



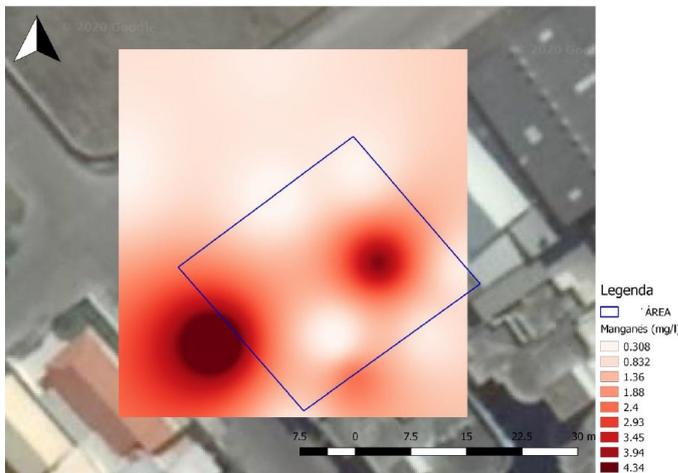
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 7 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro ferro total



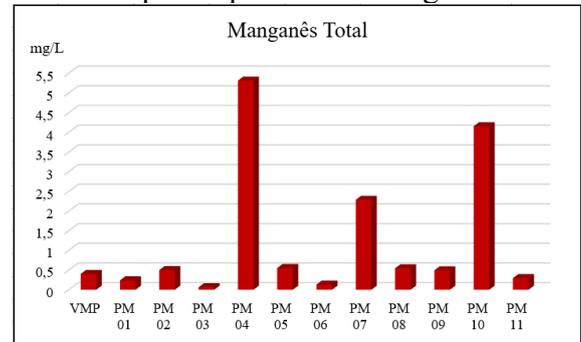
Fonte: Autora, 2020.

**8) Manganês total**



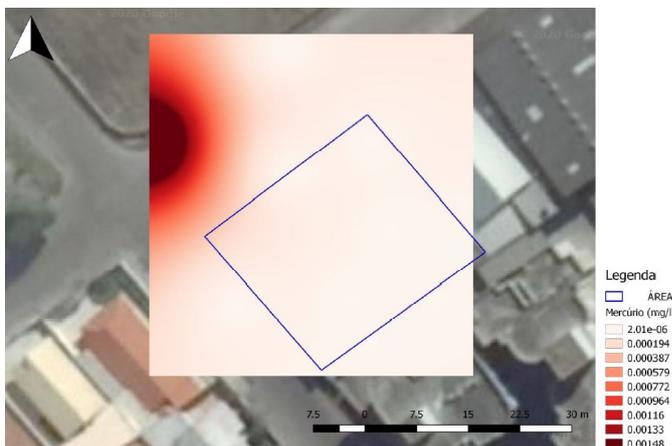
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 8 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro manganês total



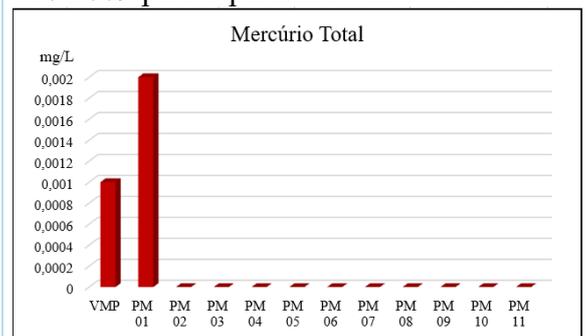
Fonte: Autora, 2020.

**9) Mercúrio total**



Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 9 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro mercúrio total



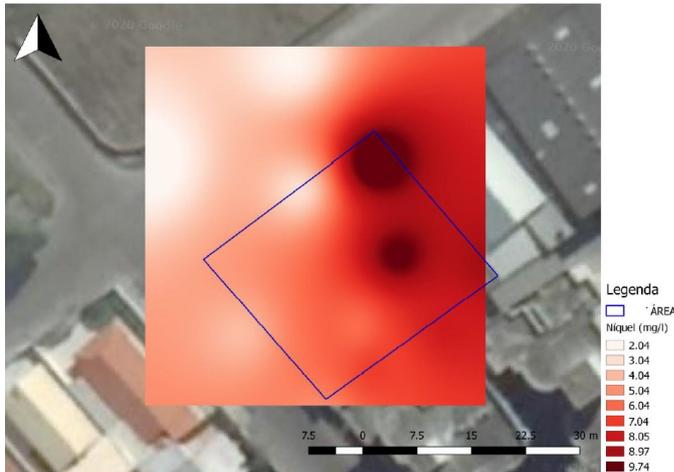
Fonte: Autora, 2020.

ANEXO E – Plumas de contaminação

(continua)

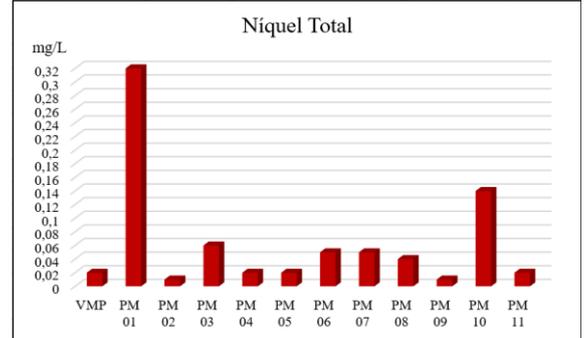
Quadro de plumas de contaminação e gráficos demonstrativos dos parâmetros que ultrapassaram a resolução CONAMA n° 420/2009

10) Níquel total



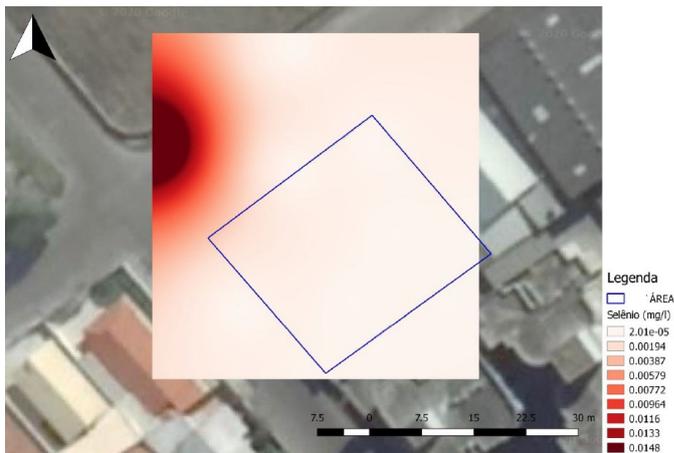
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 10 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro níquel total



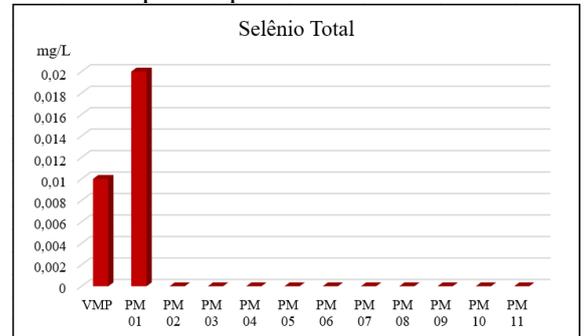
Fonte: Autora, 2020.

11) Selênio total



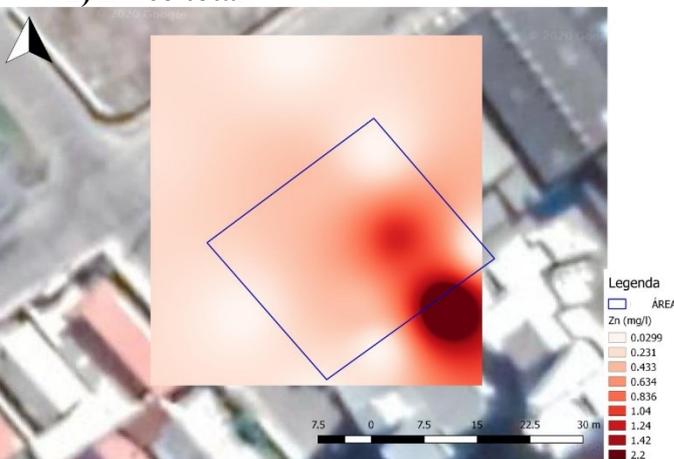
Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 11 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro selênio total



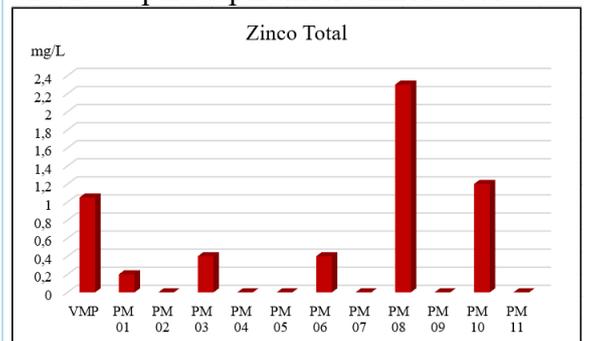
Fonte: Autora, 2020.

12) Zinco total



Fonte: Geomap, 2020.

Gráfico 12 – Detalhamento pontual das concentrações obtidas por PM comparadas ao VMP da resolução CONAMA n° 420/2009 para o parâmetro zinco total



Fonte: Autora, 2020.

Fonte: Autora, 2020.

**APÊNDICE E – Modelo Conceitual de Exposição**

<b>MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO – RESIDENCIAL URBANO</b>									
<b>MEIO FÍSICO</b>		<b>VIAS DE INGRESSO</b>				<b>Residencial urbano</b>			
						<b>Criança</b>		<b>Adulto</b>	
						<b>Receptor na fonte</b>	<b>Receptor fora da fonte</b>	<b>Receptor na fonte</b>	<b>Receptor fora da fonte</b>
<b>Caminhos de exposição</b>	<b>SOLO</b>	Superficial	Contato direto	Inalação	Vapores	<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>	
					Partículas	<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>	
			Contato dérmico		<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>		
		Ingestão		<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>			
		Ingestão de vegetais		<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>			
		Subsuperficial	Inalação		Ambientes abertos	<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>	
	Ambientes fechados				<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>		
	Ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação			<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>			
	<b>ÁGUA</b>	Subterrânea	Inalação		Ambientes abertos	<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>	
					Ambientes fechados	<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>	
			Uso irrestrito	Contato direto	Contato dérmico	<b>NÃO APLICÁVEL</b>	✓	<b>NÃO APLICÁVEL</b>	✓
					Ingestão	<b>NÃO APLICÁVEL</b>	✓	<b>NÃO APLICÁVEL</b>	✓
		Superficial	Recreação	Inalação		<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>	
Ingestão				<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>			
Contato dérmico				<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>			
<b>SEDIMENTO</b>		Ingestão			<b>NÃO APLICÁVEL</b>		<b>NÃO APLICÁVEL</b>		
		Contato dérmico							

Fonte: Adaptado de CETESB, 2020.

**APÊNDICE F – Tabela de máximas concentrações encontradas das SQI e CMA obtidas pelas planilhas CETESB**

SQI	Máxima concentração encontrada (mg/L)	PM	CMA CETESB (mg/L)							
			Contato dérmico				Ingestão			
			Criança		Adulto		Criança		Adulto	
Alumínio Total	5,4	01	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			5020	NC	5410	NC	48	NC	112	NC
Arsênio Total	0,093	01	0,402	C	0,0865	C	0,00384	C	0,00179	C
			1,51	NC	1,62	NC	0,0144	NC	0,0336	NC
Bário Total	0,91	10	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			70,3	NC	75,7	NC	9,61	NC	22,4	NC
Cadmio Total	0,016	10	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			0,126	NC	0,135	NC	0,024	NC	0,0561	NC
Cobalto Total	0,11	01	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			3,77	NC	4,06	NC	0,0144	NC	0,0336	NC
Cromo Total	0,19	08	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			ND	NC	ND	NC	ND	NC	ND	NC
Ferro Total	29,4	04	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			3520	NC	3790	NC	33,6	NC	78,5	NC
Manganês Total	5,311	04	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			703	NC	757	NC	6,73	NC	15,7	NC
Mercúrio Total	0,002	01	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			ND	NC	ND	NC	ND	NC	ND	NC
Níquel Total	0,32	01	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			20,1	NC	21,6	NC	0,961	NC	2,24	NC
Selênio Total	0,02	01	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			25,1	NC	27	NC	0,24	NC	0,561	NC
Zinco Total	2,3	08	ND	C	ND	C	ND	C	ND	C
			2510	NC	2700	NC	14,4	NC	33,6	NC

Efeito: C – Carcinogênico / NC – Não-carcinogênico / ND – Não Disponível

Fonte: Autora, 2020.

**ANEXOS**

## ANEXO A – Quantificação de risco da Avaliação de risco à saúde humana

 <b>CETESB</b>		CONTAMINANTE	EFEITO	RISCO CARCINOGENICO E NÃO CARCINOGENICO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA								RISCO CUMULATIVO POR SUI PARA RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO	RISCO CUMULATIVO POR SUI PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO
				RESIDENCIAL URBANO				CRIANÇA					
				RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO				RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO					
				INALAÇÃO		CONTATO DIRETO		INALAÇÃO		CONTATO DIRETO			
CAS No.		AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DERMICO	INGESTÃO	AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DERMICO	INGESTÃO				
1	7429-90-5	Aluminum	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,08E-03	1,12E-01	ND	1,13E-01
2	7440-38-2	Arsenic, Inorganic	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,31E-06	2,42E-04	ND	2,44E-04
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6,17E-02	6,45E+00	ND	6,51E+00
3	7440-39-3	Barium	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,29E-02	9,47E-02	ND	1,08E-01
4	7440-43-9-B	Cadmium (Water)	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,27E-01	6,66E-01	ND	7,93E-01
5	7440-48-4	Cobalt	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,92E-02	7,63E+00	ND	7,66E+00
6	7440-47-3	Chromium, Total	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
7	7439-89-6	Iron	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8,30E-03	8,68E-01	ND	8,76E-01
8	7439-96-5-A	Manganese (Diet)	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,55E-03	7,90E-01	ND	7,97E-01
9	7439-97-6	Mercury (elemental)	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
10	7440-02-0	Nickel Soluble Salts	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,59E-02	3,33E-01	ND	3,49E-01
11	7782-49-2	Selenium	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,98E-04	8,32E-02	ND	8,40E-02
12	7440-66-6	Zinc and Compounds	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9,16E-04	1,60E-01	ND	1,60E-01
13			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
14			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
15			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
16			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
17			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
18			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
19			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
20			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
21			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
22			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
23			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
24			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
25			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
26			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
27			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
28			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
29			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
30			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO		SUBSTÂNCIAS CARCINOGENICAS		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,31E-06	2,42E-04	2,06E-01	1,72E+01
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO		SUBSTÂNCIAS NÃO CARCINOGENICAS		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas: 1,00E-05  
 Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas: 1

NA Não Avaliado  
 ND Não Disponível

Fonte: CETESB, 2020.

## ANEXO A – Quantificação de risco da Avaliação de risco à Saúde Humana

 <b>CAS No.</b>	<b>CONTAMINANTE</b>	<b>EFEITO</b>	<b>RISCO CARCINOGENICO E NÃO CARCINOGENICO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA</b>								RISCO CUMULATIVO POR SOU PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO	RISCO CUMULATIVO POR SOU PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO				
			<b>RESIDENCIAL URBANO</b>				<b>ADULTO</b>									
			<b>RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO</b>										<b>RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO</b>			
			<b>INALAÇÃO</b>		<b>CONTATO DIRETO</b>		<b>INALAÇÃO</b>		<b>CONTATO DIRETO</b>							
AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DERMICO	INGESTÃO	AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DERMICO	INGESTÃO									
1	7429-90-5	Aluminum	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9,99E-04	4,82E-02	ND	4,82E-02			
2	7440-38-2	Arsenic, Inorganic	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,07E-05	5,19E-04	ND	5,29E-04			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,73E-02	2,77E+00	ND	2,82E+00			
3	7440-39-3	Barium	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,20E-02	4,06E-02	ND	5,26E-02			
4	7440-43-9-B	Cadmium (Water)	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,18E-01	2,85E-01	ND	4,04E-01			
5	7440-48-4	Cobalt	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,71E-02	3,27E+00	ND	3,30E+00			
6	7440-47-3	Chromium, Total	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
7	7439-89-6	Iron	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,71E-03	3,72E-01	ND	3,80E-01			
8	7439-96-5-A	Manganese (Diet)	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,02E-03	3,38E-01	ND	3,45E-01			
9	7439-97-6	Mercury (elemental)	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
10	7440-02-0	Nickel Soluble Salts	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,48E-02	1,43E-01	ND	1,58E-01			
11	7782-49-2	Selenium	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,40E-04	3,57E-02	ND	3,64E-02			
12	7440-66-6	Zinc and Compounds	C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8,51E-04	6,84E-02	ND	6,92E-02			
13			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
14			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
15			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
16			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
17			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
18			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
19			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
20			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
21			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
22			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
23			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
24			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
25			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
26			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
27			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
28			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
29			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
30			C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
			NC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND			
<b>RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO</b>			SUBSTÂNCIAS CARCINOGENICAS		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-05	5,16E-04				
			SUBSTÂNCIAS NÃO CARCINOGENICAS		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,47E-01	7,37E+00				

Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas: 1,00E-05  
 Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas: 1

NA Não Avaliado  
 ND Não Disponível

Fonte: CETESB, 2020.