



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**  
**CAMPUS DE JI-PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



**CAMILA LIMA CHAVES**

**AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM ÁREAS DE  
DEPOSIÇÃO DE LIXO NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ - RONDÔNIA.**

Ji-Paraná

2013

**CAMILA LIMA CHAVES**

**AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM ÁREAS DE  
DEPOSIÇÃO DE LIXO NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ - RONDÔNIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento

Co-orientador: Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

Ji-Paraná

2013

Chaves, Camila Lima  
C512a Avaliação das concentrações de metais pesados em áreas de  
2013 deposição de lixo no município de Ji-Paraná - Rondônia / Camila  
Lima ; orientadora, Elisabete Lourdes do Nascimento. -- Ji-Paraná,  
2013  
79 f. : 30cm

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. –  
Universidade Federal de Rondônia, 2013  
Inclui referências

1. Meio ambiente. 2. Resíduos sólidos. 3. Lixo – Eliminação -  
Rondônia. 4. Lixo - Reciclagem. 5. Saneamento - Rondônia. 6. Metais.  
I. Nascimento, Elisabete Lourdes do. II. Universidade Federal de  
Rondônia. III. Título

CDU 628.47 (811.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
CAMPUS DE JI-PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



**TÍTULO: AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM  
ÁREAS DE DEPOSIÇÃO DE LIXO NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ - RONDÔNIA.**

**AUTOR: CAMILA LIMA CHAVES**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, no dia 10 de Maio de 2013.

---

Beatriz Machado Gomes  
Universidade Federal de Rondônia

---

Jeferson Alberto de Lima  
Universidade Federal de Rondônia

---

Elisabete Lourdes do Nascimento  
Universidade Federal de Rondônia

Ji-Paraná, 10 de Maio de 2013.

## **DEDICATÓRIA**

*A Deus e à minha família,  
DEDICO.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida que me concede a cada dia, pela força e fé para superar todos os obstáculos. Por ter colocado em mim um sonho e me ajudado a conquistar mais essa etapa, onde sem sua constante presença nada disso seria possível.

Aos meus pais, por terem acreditado em meus sonhos, pela dedicação e esforço, pelo apoio financeiro, pelas madrugadas perdidas ao meu lado e, principalmente, pelo amor incondicional. A minha irmã Karine, pelos conselhos de irmã mais velha, pelo apoio em minhas conquistas e por estar sempre ao meu lado. Ao meu amado e fiel companheiro Iago, por todo amor, carinho, dedicação, paciência e incentivo. Sem você ao meu lado minha felicidade não seria completa, e o meu amor e admiração são incansáveis por vocês.

A Prof.<sup>a</sup> Dra. Elisabete, que além de orientadora se tornou amiga, apoiando nos momentos difíceis, estimulando-nos a prosseguir, mesmo em dificuldades, tornando possível a realização dessa pesquisa e também ao seu esposo João Paulo que contribuiu com partes importantes na confecção desta monografia.

A Prof.<sup>a</sup> Ms. Ana Lucia, pela amizade, companhia, descontração e contribuição para que essa pesquisa se realizasse com sucesso. Ao Prof. Dr. Wanderley Bastos e a todos integrantes do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer. Aos Professores Jeferson e Beatriz por terem aceitado o convite para participar da banca examinadora e pelas contribuições no projeto desta pesquisa.

Aos amigos de graduação que sempre estiveram ao meu lado, especialmente à Harianne Rossetti, Larissa Corilaço e Kismara Butzke pela amizade e companhia nesses anos de graduação.

Finalmente, a todos os professores e colegas que fizeram parte desta longa jornada, os meus sinceros agradecimentos, que Deus possa abençoar cada um de vocês e dar em dobro essa felicidade que hoje se completa em minha vida. Muito obrigada.

*“Quanto melhor é adquirir a sabedoria do que o ouro!  
E quanto mais excelente é escolher o entendimento do que a prata.”  
(Provérbios 16:16)*

## RESUMO

Os resíduos sólidos gerados nas cidades brasileiras, em sua maioria, não são coletados seletivamente e nem encontram uma deposição final adequada. Em meio aos resíduos dispostos podemos encontrar substâncias altamente tóxicas como os metais pesados, os quais são constituintes de diferentes produtos industriais, agrícolas, laboratoriais, hospitalares e residências. No município de Ji-Paraná encontram-se duas áreas de deposição de lixo: uma área inativa, onde operou um lixão a céu aberto entre os anos de 1993 a 1998; e uma área ativa desde o ano de 2008, onde os resíduos gerados atualmente no município são dispostos. Este estudo objetivou quantificar e avaliar as concentrações de metais pesados presentes nessas duas áreas. Os metais pesados quantificados nesta pesquisa foram o cobalto (Co), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), e zinco (Zn). Tais elementos foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica por chama (GBC–Avanta). Para avaliar a qualidade das amostras de solo analisadas os resultados obtidos foram comparados aos valores orientadores de qualidade (VQR) estipulados pela CETESB (2005) e aos valores de prevenção (VP) e investigação (VI) estipulados pela resolução 420/2009 do CONAMA. Os resultados obtidos constataram que os elementos Cu, Pb, Ni e Zn foram os elementos que, em diversos dos pontos analisados, apresentaram concentrações significativamente superiores aos respectivos VRQ e VP. O Pb apresentou concentração maior que o VI para solo de área agrícola ( $180\text{mg.Kg}^{-1}$ ) no lixão inativo e maior que VI para solo de área residencial ( $300\text{mg.Kg}^{-1}$ ) na lixeira controlada ativa. A lixeira controlada ativa apresentou concentração de Zn maior que o VI para solo de área agrícola ( $450\text{mg.Kg}^{-1}$ ), bem como amostras de solo contendo concentrações de Zn maiores que o VI para solo de área residencial ( $1000\text{mg.Kg}^{-1}$ ) e área industrial ( $2000\text{mg.Kg}^{-1}$ ). Baseando-se nesta constatação e na resolução 420/2009 do CONAMA (capítulo II, artigo 13º) foi possível classificar os solos da lixeira controlada ativa e do lixão inativo, como solos de Classe 4, os quais requerem ações como a eliminação do perigo e redução do risco à saúde humana e ao meio ambiente, bem

como a instituição de ações como investigação e gestão da área pelo órgão ambiental competente.

**Palavras-Chave:** Resíduos Sólidos; Metais Pesados, Lixão inativo; Lixeira controlada ativa.

## **ABSTRACT**

The solid waste generated in Brazilian cities, mostly not collected selectively and not find a suitable final disposal. Amid the waste disposed can find highly toxic substances such as heavy metals, which are constituents of different industrial, agricultural, laboratory, hospital and residences. In the city of Ji-Paraná are two areas of waste disposal: An inactive area, where he operated a dump in the open between the years 1993 to 1998, and an active area since the year 2008, where the waste currently generated the municipality are willing. This study aimed to quantify and evaluate the concentrations of heavy metals present in these two areas. Heavy metals in this study were quantified cobalt (Co), lead (Pb), copper (Cu), chromium (Cr), iron (Fe), manganese (Mn), nickel (Ni), and zinc (Zn). Such elements were analyzed by atomic absorption spectrophotometry by calling (GBC-Avanta). To evaluate the quality of the soil samples analyzed the results obtained were compared to the values guiding quality (VQR) stipulated by CETESB (2005) and the values of prevention (VP) and research (VI) stipulated by Resolution 420/2009 of CONAMA. The results found that the elements Cu, Pb, Ni and Zn were the elements, in several of the points analyzed, concentrations were significantly higher than their VRQ and VP. The Pb showed higher concentration than the VI for solo farming area ( $180\text{mg.Kg}^{-1}$ ) in the inactive landfill and greater than VI for solo residential area ( $300\text{mg.Kg}^{-1}$ ) in active landfill site. The landfill site showed active Zn concentration greater than VI for solo farming area ( $450\text{mg.Kg}^{-1}$ ) as well as soil samples containing higher concentrations of Zn than VI for solo residential area ( $1000\text{mg.Kg}^{-1}$ ) and industrial area ( $2000\text{mg.Kg}^{-1}$ ). Based on this assessment and the Resolution 420/2009 of CONAMA (Chapter II, Article 13) it was possible to classify the soils of the landfill site active and inactive landfill as Class 4 soils, which require actions such as elimination of the hazard and reduction of risk to human health and the environment as well as the institution of actions such as research and management of the area by the competent environmental agency.

**Keywords:** Solid Waste, Heavy Metals, Dump inactive; Trash controlled active.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribuição dos pontos amostrados na área da lixeira controlada ativa. Fonte: João Paulo, 2013.....	34
<b>Figura 2.</b> Distribuição dos pontos amostrados na área do lixão inativo. Fonte: João Paulo, 2013.....	34
<b>Figura 3.</b> Coleta e identificação das amostras de solo. Fonte: Igor Fotopoulos (2011).....	35
<b>Figura 4.</b> Umidificação do solo, peneiramento e maceração do solo para digestão. Fonte: organizador (2012).....	36
<b>Figura 5.</b> Pesagem, adição dos reagentes, digestão do solo para extração química dos metais em chapa aquecedora e filtragem das amostras. Fonte: organizador (2012).....	37
<b>Figura 6.</b> Espectrofotômetro de absorção atômica por chama e leitura dos metais. Fonte: organizador (2012).....	38
<b>Figura 7.</b> Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas na lixeira controlada ativa no período de estiagem – junho/2011.....	48
<b>Figura 8.</b> Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.....	49
<b>Figura 9.</b> Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.....	50
<b>Figura 10.</b> Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.....	51
<b>Figura 11.</b> Coleta ao ponto 5 realizada ao lado de lagoa de despejo de esgoto. Fonte: Igor Fotopoulos (2011).....	53
<b>Figura 12.</b> Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas na lixeira controlada ativa no período de estiagem – junho/2011.....	56

<b>Figura13.</b> Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.....	57
<b>Figura14.</b> Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.....	58
<b>Figura 15.</b> Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.....	59
<b>Figura 16.</b> Caracterização do ponto 5 localizado ao lado de lagoas de despejo de esgoto por empresas limpa fossas. <b>Fonte:</b> Igor Fotopoulos (2011).....	60
<b>Figura 17.</b> Caracterização do ponto 4, localizado em área com indícios de fogo e despejo de construção civil. <b>Fonte:</b> organizadores (2011).....	61
<b>Figura 18.</b> Distribuição espacial das concentrações de níquel encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.....	64
<b>Figura 19.</b> Distribuição espacial das concentrações de níquel encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.....	65
<b>Figura 20.</b> Distribuição espacial das concentrações de níquel encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.....	66
<b>Figura 21.</b> Vala de deposição dos resíduos sólidos dos serviços de saúde. <b>Fonte:</b> organizadores (2011).....	68
<b>Figura 22.</b> Ponto 3 caracterizado pela célula de deposição ativa. <b>Fonte:</b> organizadores (2011).....	69
<b>Figura 23.</b> Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas na lixeira controlada ativa no período de estiagem – junho/2011.....	70
<b>Figura 24.</b> Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.....	71
<b>Figura 25.</b> Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.....	72
<b>Figura 26.</b> Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição e localização dos pontos coletados na Lixeira Controlada Ativa...	33
<b>Tabela 2.</b> Descrição e localização dos pontos coletados no Lixão Inativo.....	33
<b>Tabela 3.</b> Valores orientadores para solo no estado de São Paulo. Fonte: CETESB (2005); CONAMA (2009).....	39
<b>Tabela 4.</b> Concentração de metais pesados nas amostras de solo coletadas na lixeira controlada ativa do município de Ji-Paraná (junho e novembro de 2011).....	41
<b>Tabela 5.</b> Concentração de metais pesados nas amostras de solo coletadas no lixão inativo (junho e novembro de 2011).....	42
<b>Tabela 6.</b> Resultados (valores de p) referentes à análise estatística que excederam os valores orientadores e suas respectivas significâncias dos valores encontrados.....	42
<b>Tabela 7.</b> Classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas ( resolução CONAMA nº 420/2009).....	46

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>1. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.2. Pilhas, Baterias e Lâmpadas Fluorescentes .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.3. Resíduos Sólidos Industriais .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1.4. Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3. OS RESÍDUOS SÓLIDOS E A CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS.....</b>	<b>23</b>
<b>1.4. CARACTERÍSTICAS DOS METAIS PESADOS E SUAS RELAÇÕES COM A SAÚDE HUMANA.....</b>	<b>26</b>
<b>1.4.1. Cobalto (Co).....</b>	<b>26</b>
<b>1.4.2. Cobre (Cu).....</b>	<b>27</b>
<b>1.4.3. Chumbo (Pb).....</b>	<b>27</b>
<b>1.4.4. Cromo (Cr).....</b>	<b>28</b>
<b>1.4.5. Ferro (Fe).....</b>	<b>28</b>
<b>1.4.6. Manganês (Mn).....</b>	<b>29</b>
<b>1.4.7. Níquel (Ni).....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.8. Zinco (Zn).....</b>	<b>30</b>
<b>1.5. DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ.....</b>	<b>31</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
<b>2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2. COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3. EXTRAÇÃO QUÍMICA DOS METAIS PESADOS DAS AMOSTRAS DE SOLO.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4. DETECÇÃO DOS METAIS PESADOS NAS AMOSTRAS DE SOLO.....</b>	<b>38</b>
<b>2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>39</b>
<b>2.6. VALORES ORIENTADORES.....</b>	<b>39</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>43</b>

<b>3.1.2. Teores de Fe e Mn Encontrados nas Áreas Avaliadas.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2. METAIS PESADOS QUE APRESENTARAM CONCENTRAÇÕES ACIMA DOS VALORES ORIENTADORES (VRQ, VP E VI).....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.1. Cobre (Cu).....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.2. Chumbo (Pb).....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.3. Níquel (Ni).....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.4. Zinco (Zn).....</b>	<b>69</b>
<b>3.3. CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS ABAIXO DO VRQ, VP E VI OU COM CONCENTRAÇÕES EM PONTOS ISOLADOS.....</b>	<b>75</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>

## INTRODUÇÃO

O solo é um componente fundamental do ecossistema terrestre, pois é o principal substrato utilizado pelas plantas para o seu crescimento e disseminação. Ele fornece as raízes, fatores de crescimento como suporte, água, oxigênio e nutrientes. Além disto, ressalta-se a multiplicidade de funções que o solo exerce, tais como: a regulação da distribuição, armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação; armazenamento e ciclagem de nutrientes para as plantas e outros elementos e a ação filtrante e protetora da qualidade da água. O ser humano também utiliza o solo enquanto matéria prima ou substrato para obras civis (casas, indústrias, estradas), cerâmica e artesanato. (LIMA, 2001, 2003).

Segundo Roth e Garcias (2008), atualmente observam-se grandes concentrações populacionais e forte industrialização nas cidades juntamente com as mudanças no padrão de consumo. Estes fatores levam a um aumento na geração de resíduos sólidos que vem a causar grandes danos ao meio ambiente e prejudicar a qualidade de vida nos sistemas urbanos. Uma das principais causas deste problema é o padrão de produção e consumo adotado nas cidades do mundo que se apresenta como inadequado e despreocupado com a sustentabilidade.

Nessas condições, Lima (2001, 2003) evidencia que o desempenho das funções básicas do solo fica severamente prejudicado, acarretando interferências negativas no equilíbrio ambiental, diminuindo drasticamente a qualidade de vida nos ecossistemas, principalmente naqueles que sofrem mais diretamente a interferência antrópica como os sistemas agrícolas e urbanos.

Segura-Muñoz (2002) destaca que os resíduos sólidos gerados por esse aumento populacional e de consumo são considerados a expressão mais visível e concreta dos riscos ambientais, pois além das consequências para a saúde comunitária, deve-se considerar o impacto que a disposição inadequada desses resíduos pode provocar no solo.

De acordo com Plano de Gerenciamento Ambiental da Lixeira Controlada (2008), do município de Ji-Paraná, atualmente a disposição dos resíduos no município em questão é

realizada em uma lixeira controlada e, em anos anteriores, a disposição foi realizada em lixões a céu aberto.

A atual área de deposição de resíduos sólidos do município, lixeira controlada como é denominada, é considerada adequada pelo Plano de Gerenciamento Ambiental de Ji-Paraná – RO (2008) visto às características de geração de resíduos do município. Entretanto, de acordo com a lei nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, uma destinação final ambientalmente adequada compreende a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, do Sistema Nacional da Vigilância Sanitária – SNVS e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos, atributos que a lixeira controlada ativa do município não contempla.

Bisinot (2002) cita que dentre os resíduos que oferecem grande risco aos seres vivos e ao meio ambiente podem ser citados os seguintes materiais: cloro-soda, lâmpadas elétricas, pilhas, tintas, resíduos farmacêuticos, explosivos, couro, madeira, têxtil, aparelhos elétricos e produtos químicos, catalisadores para materiais plásticos. Em meio aos resíduos descartados na lixeira controlada podem ser encontrados materiais orgânicos, patogênicos e de grande risco contaminante, tanto para os seres vivos como para o meio ambiente, já que o município não dispõe das premissas básicas para uma disposição adequada.

Fundamentado nas informações supracitadas, esta pesquisa objetivou a avaliação das concentrações dos metais pesados cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), Ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) em amostras de solo provenientes das áreas ativa e inativa de disposição de resíduos do município de Ji-Paraná.

# 1. REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a Norma Brasileira – NBR 10.004 de 2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

São considerados resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Através da mesma norma (NBR 10.004/04), a ABNT classifica os resíduos, quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente, em:

**Resíduos Classe I – Perigosos:** São aqueles cujas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas podem acarretar em riscos à saúde pública e/ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Para que um resíduo seja apontado como classe I, ele deve estar contido nos anexos A ou B da NBR 10.004/04 ou apresentar uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

**Resíduos Classe II - Não perigosos:** Resíduos classe II A – Não inertes: Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes, nos termos da Norma. Os resíduos enquadrados nessa classe podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II B – Inertes: Quaisquer resíduo que, quando amostrado de uma forma representativa, segundo a ABNT – NBR 10.007/04, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT – NBR 10.006/04, não tiver nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (2008) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, relata que são coletadas diariamente no Brasil 183.488 toneladas de lixo domiciliar em todos os municípios brasileiros, deste montante, o estado de Rondônia contribui com 1.016 toneladas diárias. Já o município de Ji-Paraná, segundo o Plano Setorial dos Serviços Públicos de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e Limpeza Pública (2012), em 2009, teve uma geração aproximada de 63 toneladas de resíduos por dia.

A origem dos resíduos é um elemento importante para sua caracterização e posterior tratamento. Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal do Rio de Janeiro - IBAM (2011), os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes:

- a) Resíduo doméstico ou residencial: apresentam em torno de 50% a 60% de composição orgânica (cascas de frutas, verduras e sobras, etc.), sendo o restante formado por embalagens em geral (jornais e revistas, garrafas, latas, vidros, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande variedade de outros itens);
- b) Resíduo comercial: resíduos originados por estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade desenvolvida;
- c) Resíduo público: resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como: folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.
- d) Resíduo domiciliar especial: incluindo os resíduos da construção civil, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus;
- e) Resíduos de fontes especiais: incluindo o lixo industrial, radioativo, de portos, aeroportos e terminais rododiferroviários, agrícola e os resíduos de serviços de saúde.

Dentre as classificações citadas pelo IBAM (2011), ressaltam-se nessa pesquisa os resíduos potenciais contaminadores de metais pesados, os quais estão inclusos as pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes, os resíduos industriais e os resíduos do serviço de saúde. (FERREIRA et al., 2009)

### **1.1.2 Pilhas, Baterias e Lâmpadas Fluorescentes**

As pilhas e baterias têm como princípio básico converter energia química em energia elétrica utilizando um metal como combustível. Elas apresentam, em sua composição metais perigosos à saúde e ao ambiente, pois possuem eletrodos que são constituídos de uma variedade de metais potencialmente perigosos (chumbo, níquel, cádmio, mercúrio, cobre, zinco, manganês), responsáveis por possíveis danos causados ao ambiente e à saúde dos seres vivos (FERREIRA et al., 2009).

As pilhas e baterias podem ser classificadas como resíduos de classe I, assim como as lâmpadas fluorescentes, as quais contém a presença do mercúrio em sua composição, além do pó no interior das lâmpadas fluorescentes que liberam o metal quando são quebradas, queimadas ou enterradas em aterros sanitários. (BANAS, 2003)

### **1.1.3. Resíduos Sólidos Industriais**

Segundo a resolução CONAMA nº 313 de 29 de outubro de 2002 entende-se que resíduo sólido industrial é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

Segundo Kraemer (2005), a indústria é responsável por grandes quantidades de resíduos, como sobras de carvão mineral, refugos da indústria metalúrgica, resíduos químicos, gases poluidores e fumaça lançada pelas chaminés das fábricas. Os resíduos industriais estão entre os maiores responsáveis pelas agressões ao ambiente. Neles estão incluídos produtos químicos (cianureto, pesticidas, solventes), metais (mercúrio, cádmio, chumbo) e solventes químicos que ameaçam os ciclos naturais onde são despejados. Os resíduos sólidos são amontoados e enterrados; os líquidos são despejados em rios e mares; os gases são lançados no ar.

Segundo Sisinno (2003) o manuseio dos resíduos sólidos, direta ou indiretamente, pode ocasionar contaminações ao ser humano, geralmente causadas pela má disposição e destino final inadequado dos resíduos, trazendo conseqüente contaminação ambiental do solo, lençóis freáticos, corpos d'água superficiais, biota e atmosfera.

### **1.1.4. Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde**

Os resíduos do serviço de saúde são os resíduos provenientes de todo tipo de operações e atividades oriundas da prestação de assistência médica, sanitária, farmacêuticas, enfermagens, odontológicas, análises clínicas e áreas de atuação congêneres, o desenvolvimento normal de seus profissionais (FUNASA, 2004).

Segundo a Resolução de Diretoria Colegiada – RDC – da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – nº 33, de 25 de maio de 2003, a classificação dos resíduos de serviço de saúde se dá quanto aos riscos potenciais poluidores ao meio ambiente e

prejudiciais a saúde pública, segundo suas características biológicas, físicas, químicas, estado da matéria e origem. São divididos em 5 grupos (FUNASA, 2004):

- a) Grupo A - Resíduos Infectantes: com maior virulência, infectividade e concentração de patógenos;
- b) Grupo B - Resíduos Químicos: contendo substâncias químicas que apresentam riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, independente de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade;
- c) Grupo C - Resíduos Radioativos: sendo qualquer resíduo contaminado por radionuclídeos;
- d) Grupo D - Resíduos Comuns: semelhantes aos resíduos domiciliares, não apresentando riscos à saúde pública;
- e) Grupo E - Resíduos Perfurocortantes: objetos e instrumentos contendo cantos, bordas, pontos ou protuberâncias rígidas e agudas, capazes de cortar ou perfurar.

A resolução ANVISA RDC N° 306, de 7 de dezembro de 2004, que dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde prevê como potenciais contaminantes por metais pesados os fixadores usados em radiologia, os quais podem ser submetidos a processo de recuperação da prata e as pilhas, baterias e acumuladores de carga contendo Chumbo (Pb), Cádmio (Cd) e Mercúrio (Hg) ou seus compostos, que devem ser descartados de acordo com a Resolução CONAMA n°. 257/1999. Os demais resíduos sólidos contendo metais pesados podem ser encaminhados a Aterro de Resíduos Perigosos – Classe I ou serem submetidos a tratamento de acordo com as orientações do órgão local de meio ambiente, em instalações licenciadas para este fim. Os resíduos líquidos deste grupo devem seguir orientações específicas dos órgãos ambientais locais.

## **1.2. SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

Segundo o manual de saneamento básico, elaborado pela Fundação Nacional de saúde (2004), existem três formas básicas adotadas pela sociedade urbana para a disposição de resíduos sólidos: vazadouro a céu aberto ou lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

Os vazadouros a céu aberto ou lixões consistem na disposição do resíduo no solo, sem qualquer tratamento ou recobrimento do lixo com solo após sua disposição. Já no aterro

controlado, o lixo é disposto em valas, geralmente sem impermeabilização e recoberto com material inerte ao final de cada jornada de trabalho. O aterro sanitário é o método que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos em uma menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo com uma camada de terra sempre que necessário, fazendo a coleta do chorume e biogás produzindo e atendendo a todos critérios das normas vigentes (FUNASA, 2004).

Observando-se a destinação final dos resíduos, até o ano de 2008, os vazadouros a céu aberto (lixões) compunham o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros, seguidos de 22,7% em aterros controlados e 27,7% em aterros sanitários, conforme revelou o PNSB (2008), onde os municípios com serviços de manejo dos resíduos sólidos situados nas Regiões Nordeste e Norte registraram as maiores proporções de destinação desses resíduos aos lixões, 89,3% e 85,5%, respectivamente.

Em relação ao destino final dos resíduos sólidos de serviços de saúde sépticos, nos municípios que coletavam e/ou recebiam tais resíduos, 61,1% das entidades municipais que fizeram parte da pesquisa, informaram dispor os resíduos em vazadouros ou aterros em conjunto com os demais resíduos enquanto 24,1% das entidades municipais questionadas informaram dispor esses resíduos em aterros específicos para resíduos especiais (PNSB, 2008).

Desta forma, a disposição inadequada dos resíduos sólidos promove a contaminação do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além da proliferação de vetores de doenças, influenciando negativamente a qualidade ambiental e a saúde da população (LEITE et al., 2004).

### **1.3. OS RESÍDUOS SÓLIDOS E A CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS**

Os metais pesados são elementos químicos que possuem peso específico maior que 5 g.cm<sup>-3</sup> ou número atômico maior do que 20. Entretanto, o termo *metais pesados* é utilizado para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, provocando diferentes danos à biota, podendo ser metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio. São considerados os poluentes inorgânicos mais tóxicos que ocorrem no solo e se encontram disseminados por

toda a natureza. Nos solos, os metais são originários da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo, como: precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (estercos de animais, lixo domiciliar e biossólidos) (TSUTIYA, 1999).

Muitos metais pesados são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde bactérias até o ser humano, mas quando em altas concentrações, podem danificar os sistemas biológicos por apresentarem características bioacumulativas nos organismos (CELERE, OLIVEIRA e SEGURA-MUÑOZ, 2007).

Segundo Emsley (2001) para o ser humano, existem 14 metais essenciais, dentre eles o cálcio, potássio, sódio, magnésio, ferro, zinco, cobre, estanho, vanádio, cromo, manganês, molibdênio, cobalto e níquel. Já Soares (2004) considera como elemento essencial à fisiologia humana, além dos metais pesados citados por Emsley (2001), o selênio (Se). Dessa relação, pode-se constatar que alguns metais considerados tóxicos em concentrações elevadas, como zinco, cobre, cromo e níquel, são fundamentais, em baixas concentrações, ao metabolismo humano.

Já a Organização Mundial de Saúde (1996) considera outros metais pesados, como mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e Arsênio (As), altamente tóxicos aos seres humanos, mesmo quando presentes em baixas concentrações, e respondem pela maioria dos problemas de saúde, devido à poluição do meio ambiente.

Alloway (1990) estima tempos de residência de metais em solos de aproximadamente 380 anos para Cd e 3000 anos para Pb, enquanto a meia vida desses elementos é estimada em até 1100 e 5900 anos.

Muitos metais são empregados ou liberados em atividades industriais, agrícolas e de mineração, sendo posteriormente lançados no ambiente como resíduo destas atividades. Conseqüentemente, os teores destes metais em solos sob atividade humana são mais elevados que os encontrados naturalmente em solos (BIONDI, 2010).

A partir da década de 90, com o aumento dos problemas ambientais decorrentes da contaminação por metais pesados, governos e pesquisadores despertaram para os riscos que estes elementos químicos poderiam representar para o meio ambiente e conseqüentemente para a saúde da população. Aumentando-se assim o número de pesquisas, congressos, simpósios e reuniões realizadas acerca do tema “contaminação dos solos por metais pesados” (GOMES, 2009).

Embora se acredite que a distribuição dos metais pesados se dê através da contaminação da água ou de alimentos que consumimos, eles são em sua maioria

transportados de um lugar para outro por via aérea, como gases ou como espécies adsorvidas ou absorvidas em material particulado em suspensão (BAIRD, 2002).

Diversos são os materiais encaminhados aos aterros sanitários e outros locais de disposição de resíduos que podem conter metais pesados em suas composições, como por exemplo, lâmpadas, pilhas galvânicas, baterias, restos de tintas, resíduos de produtos de limpeza, óleos lubrificantes usados, solventes, embalagens de aerossóis, materiais fotográficos e radiográficos, embalagens de produtos químicos, pesticidas, fungicidas e inseticidas, componentes eletrônicos descartados isoladamente em placas de circuitos impressos, resíduos de produtos farmacêuticos, medicamentos com prazo de validade vencidos, latarias de alimentos, aditivos alimentares e plásticos descartados (WHO, 1988, 1989, 1992, 1995, 2001).

Em estimativas realizadas por Rousseaux et al. (1989 apud FILHO, 1999) das quantidades de metais pesados dispersos no lixo brasileiro, assim como a contribuição de cada componente do lixo para o teor final de metais no composto, os plásticos aparecem como principal fonte de Cd, com percentuais de 67 a 77% do total. O Pb e o Cu se manifestam em quantidades importantes nos metais ferrosos (29 a 50% de Pb e 14 a 50% de Cu). O couro contribui com 35% do Cr e a borracha com 32 a 37% do Zn. O papel aparece como notável fonte de Pb (10 a 14%).

Segundo Biondi (2010) uma peculiaridade dos metais é o fato de não serem modificados ou degradados, como ocorre aos contaminantes orgânicos. Desta forma, mantendo-se a fonte contaminante, ocorre a acumulação progressiva e persistente do metal no solo.

Uma preocupação crescente é a disseminação dos metais pesados na área de deposição dos resíduos através da formação do chorume, um líquido escuro com altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos, resultante da decomposição dos resíduos e devido à introdução de água, na maioria das vezes proveniente das precipitações. O chorume, por apresentar substâncias altamente solúveis, tem a característica de percolar além dos resíduos, podendo atingir o solo, corpos hídricos próximos e as águas subterrâneas. Sua composição físico-química é muito variável, dependendo das condições climáticas e dos resíduos dispostos. Ele pode conter altas concentrações de metais pesados, sólidos suspensos e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas, como carboidratos, proteínas e gorduras (CELERE et al., 2007).

A toxicidade de um metal, assim como sua disponibilidade (capacidade de interação de um contaminante com um sistema biológico), está relacionada a vários fatores, tais como: forma química em que o metal encontra-se no ambiente, sua capacidade de biotransformação em subprodutos mais ou menos tóxicos, vias de introdução do metal no organismo humano, etc. As principais vias de introdução de metais no organismo humano são através do ar inalado, por via oral (água e alimentos) ou por via dérmica (REIDLER, 2002).

Segundo Paye et al. (2010), valores de referência de qualidade (VRQ), os quais correspondem a concentração de substâncias químicas presentes naturalmente no solo; para metais pesados, em âmbito mundial, são bastante heterogêneos. No Brasil, poucos estudos para estabelecer esses valores foram concluídos, sendo apenas definidos em alguns estados.

Na legislação federal encontramos a resolução CONAMA nº420 de 28 de dezembro de 2009 que 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. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB também dispõe em sua decisão de diretoria nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005, de valores orientadores quanto à presença de substâncias químicas para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo.

## **1.4. CARACTERÍSTICAS DOS METAIS PESADOS E SUAS RELAÇÕES COM A SAÚDE HUMANA**

### **1.4.1. Cobalto (Co)**

O cobalto (Co) caracteriza-se por ser um metal branco-acinzentado, com densidade de  $8,9\text{g.cm}^{-3}$  e propriedades magnéticas similares ao ferro e ao níquel. De acordo com Alves e Rosa (2003), o Co é utilizado principalmente na indústria metalúrgica para produção de aços com características especiais de dureza e resistência. Na forma de óxidos é utilizado como catalisador na indústria química e de óleos; na forma de sais uma das utilizações é na indústria de cerâmica, como pigmento.

O Co é considerado um micronutriente essencial e sua função está relacionada à composição da vitamina B-12. Encontra-se presente em diversos alimentos como nos legumes, germe de trigo, vegetais, frutas, farelo de trigo, cereais, arroz, batata, que são alguns

exemplos de boas fontes de cobalto. Também podemos citar as carnes, peixes e queijo (BLAUROCK-BUSCH; GRIFFIN, 1996).

Segundo Alves e Rosa, (2003), quando exposto aos diferentes compostos de cobalto, o ser humano pode vir apresentar dificuldades do sistema respiratório como asma brônquica e fibrose.

#### **1.4.2. Cobre (Cu)**

O Cu é o elemento de número atômico 29, peso atômico 63,54 e densidade 8,96 g.cm<sup>-3</sup>. Está presente em todas as rochas da crosta terrestre (MELLIS, 2006).

Conforme Takamatsu (1995), o cobre é considerado um dos elementos essenciais mais importantes para plantas e animais quando em baixas concentrações. Na natureza o cobre forma sulfetos, sulfatos, carbonatos e outros compostos, ocorrendo também em ambientes redutores, como metal nativo. O cobre é especificamente adsorvido ou fixado nos solos, tornando-o um dos metais pesados que menos se dispersa no meio ambiente. Altas concentrações de cobre na camada superficial de um solo são uma indicação da adição de fertilizantes, lodos de esgoto e outros resíduos, fungicidas ou bactericidas, ou estrumes de suínos e cavalos.

Martins (2011) relata que as principais fontes industriais de cobre compreendem as indústrias de mineração, fundição e refinação. Segundo Mellis (2006) podem ter origem também em canalizações de água quente, fios elétricos, radiadores de automóveis e tratamento de superfícies metálicas.

Podemos encontrar cobre também na composição de algumas pilhas disponíveis no mercado. Embora seja considerado elemento essencial, altas concentrações desse mineral têm sido associadas a sintomas gastrointestinais, como diarreias, dores abdominais, náuseas e vômito (PIZARRO et al., 1999).

#### **1.4.3. Chumbo (Pb)**

De acordo com a Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças – ATSDR, (2005) o Pb é um metal pesado que ocorre naturalmente na crosta terrestre. Raramente é

encontrado isoladamente, normalmente encontra-se combinado com dois ou mais elementos, formando compostos. É de ocorrência natural no ambiente, mas a atividade humana proporcionou o aumento da concentração do elemento nas últimas décadas, sendo este aumento um fator preocupante.

No seu estado elementar o chumbo é denso ( $11,3\text{pg.cm}^{-3}$ ), metal azul-acinzentado que se funde à  $327^{\circ}\text{C}$  e ferve a  $1.744^{\circ}\text{C}$ . O metal é bem maleável e tende a escorrer sob pressão, assim pode ser facilmente cortado e moldado (TAKAMATSU, 1995).

O chumbo é um elemento tóxico e não essencial, tendo a característica de acumular nos organismos. Ele afeta, adversamente, vários órgãos e sistemas, sendo que as alterações subcelulares e os efeitos neurológicos sobre o desenvolvimento parecem ser os mais críticos. Atinge com maior frequência crianças por razões neurológicas, metabólicas e comportamentais. Podem-se observar efeitos indiretos no sistema cardiovascular, sistema gastrointestinal, e no sistema renal causa interferências na excreção de sais e ácido úrico. O chumbo pode afetar também o sistema reprodutor masculino, na morfologia e contagem do esperma, e o sistema reprodutor feminino com danos fetais em seu desenvolvimento, com risco de um parto prematuro e dificuldades no ganho de peso e crescimento (MOREIRA, 2004).

#### **1.4.4. Cromo (Cr)**

O  $\text{Cr}^{+3}$  é a forma estável do cromo e é considerada a forma essencial sob a qual este elemento apresenta atividade biológica, não havendo evidências sobre a toxicidade de compostos de cromo nesta forma (VENEZUELA, 2001). O  $\text{Cr}^{+6}$ , hexavalente, presente nos cromatos, é 100 vezes mais tóxico para as plantas, animais e o homem. A maioria dos microrganismos (protozoários, fungos, algas e bactérias) é capaz de absorver o cromo. É resistente ao intemperismo e devido à sua alta densidade ( $7,2\text{g.cm}^{-3}$ ) pode ser mecanicamente concentrado em depósitos de minerais pesados (OLIVEIRA, 2007).

Os compostos de  $\text{Cr}^{+6}$  não são naturais, sendo que, estes penetram através das membranas biológicas e são reduzidos para  $\text{Cr}^{+3}$  causando danos à estrutura celular. Neste caso também ocorre um aumento na concentração de  $\text{Cr}^{+3}$  acima do normal, causando um desequilíbrio e transformando o  $\text{Cr}^{+3}$  em tóxico. Estes compostos são geralmente irritantes e corrosivos, e as partes mais atingidas são a pele e o sistema respiratório, podendo causar

ulcerações e até perfuração no septo nasal. A intoxicação torna-se séria quando há adsorção pelo trato intestinal. (SILVA et al., 2008)

#### **1.4.5. Ferro (Fe)**

No ambiente, o ferro é oxidado primeiramente à forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e, em seguida, à forma férrica ( $\text{Fe}^{3+}$ ). O estado férrico do ferro é muito propenso a sofrer hidrólise e a formar polímeros de hidróxido de ferro insolúvel, geralmente denominados ferrugem. Aparece, geralmente, combinado com oxigênio, enxofre e silício, formando os minérios de ferro de coloração variada (HUEBERS, 1991).

Segundo Lima (2003), o ferro é o elemento telúrico mais abundante, compondo 30% da massa total do planeta. Constitui 80% do núcleo da terra e é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, depois do oxigênio, silício e alumínio.

De acordo com Cercasov et al. (1998), o ferro e seus compostos são liberados para atmosfera principalmente na forma de material particulado. É removido por sedimentação ou pela água das chuvas, sendo essa remoção relacionada com o tamanho das partículas e com as condições meteorológicas do local (temperatura do ar e velocidade dos ventos).

Entre as fontes antropogênicas de ferro de origem urbana estão os efluentes de esgotos domésticos e industriais e o escoamento superficial, entre outras. O ser humano está exposto ao ferro principalmente pela ingestão de alimentos e bebidas, a ingestão média total de ferro por meio dos alimentos é de aproximadamente  $15\text{mg}\cdot\text{dia}^{-1}$  (LIMA; PEDROSO, 2001).

Quando há deficiência de ferro no organismo, pode-se perceber a perda crônica de sangue, relacionado à deficiência na síntese de hemoglobina e consequente anemia ferropênica (hipocrômicaemicrocítica) (HOFFBRAND et al., 2001).

A deficiência de ferro também tem sido descrita como tendo papel na fisiopatologia da síndrome das pernas inquietas (SADRZADEH, SAFFARI, 2004). Quando em excesso, passa a desencadear reações oxidativas, aumentando o estresse oxidativo, podendo levar a doenças neurodegenerativas como Demência de Alzheimer e Doença de Parkinson. (FERNANDEZ et al., 2007).

#### **1.4.6. Manganês (Mn)**

O Mn é um constituinte essencial ao desenvolvimento dos animais, sendo encontrado em pequenas quantidades na maioria dos tecidos e em diferentes concentrações (MATTIAS, 2006).

Alguns alimentos como grãos, sementes, arroz e nozes podem exceder  $10\text{mg.Kg}^{-1}$  de Mn. Já os cereais e chás podem apresentar concentrações de 780 a  $930\text{mg.Kg}^{-1}$ . Os vegetais, as batatas, as frutas e o gérmen de trigo também são fontes de manganês. Este é, com frequência, considerado como um dos metais pesados de menor toxicidade (VENEZUELA, 2001).

As principais fontes de Mn dispostas no lixo que contribuem para o aumento de suas concentrações no solo são as pilhas comuns e alcalinas e as lâmpadas fluorescentes (SEGATO e SILVA, 2000).

Os sintomas de intoxicação por Mn são semelhantes aos da doença de Parkinson (tremores e rigidez muscular), perda de apetite, paralisia cerebral, problemas neurológicos, doenças psiquiátricas e perda de memória (OMS, 1998).

#### **1.4.7. Níquel (Ni)**

O Ni foi identificado há pouco tempo como elemento essencial ao desenvolvimento dos animais (MATTIAS, 2006), onde em sua pesquisa sobre nutrição animal, Andriquetto (1981) considerou o Ni um constituinte normal do organismo animal.

Podem ser encontrados em alimentos tais como chá, café, cereais, frutas, batata e vegetais verdes. No entanto, existem poucos dados sobre a transferência de níquel para o homem através de vegetais (OLIVEIRA, 2007).

Os sais de Ni exercem sua ação tóxica principalmente por irritação gastrointestinal. Concentrações elevadas de níquel em tecidos têm sido associadas com quadros clínicos de infarto do miocárdio, toxemia e câncer (Oliveira, 2007). Os sintomas de deficiências de Ni são de difícil ocorrência por conta da baixa exigência no organismo humano, mas há indícios de problemas reprodutivos e alto índice de mortandade ao nascimento (Mattias, 2006).

#### **1.4.8. Zinco (Zn)**

Largamente utilizado na indústria, segundo Martins (2011), o Zn é liberado no meio ambiente por processos naturais e antropogênicos, entre os quais se destacam a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos.

Em pequenas doses, o Zn é um metal essencial ao desenvolvimento do organismo humano, e por isso, tanto a ausência quanto à exposição excessiva podem trazer efeitos nocivos. Sua deficiência pode gerar diversos efeitos, como falhas no crescimento, retardo na maturidade sexual, que é acompanhada de desnutrição calórico-proteica, dermatite, cegueira noturna, atrofia testicular, impotência, retardo na cicatrização de ferimentos, doença renal crônica e anemia hemolítica (OLIVEIRA, 2007).

Já quando ministrado em altas doses por vários meses pode causar anemia, danos pancreáticos e diminuição do colesterol *High Density Lipoproteins* – HDL no sangue (AZEVEDO, CHASIN, 2003).

Oliveira (2007) destaca ainda que o Zn pode ser absorvido no organismo pela via digestiva (água e alimentos), ou pode penetrar pelos pulmões pela inalação de fumos e poeiras em operações de fundição e soldagem no trabalho. Uma alta ingestão de Zn pode interferir na absorção de cobre (Cu), que assim como o Zn, é essencial ao desenvolvimento do organismo humano.

### **1.5. DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE JI-PARANÁ**

De acordo com o Plano Setorial dos Serviços Públicos de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e Limpeza Pública do Município de Ji-Paraná (2012), estão incluídos como responsabilidade da prefeitura os resíduos sólidos de origem domiciliar; de comércio e de serviços: complementares (resíduos sólidos da limpeza do sistema de drenagem pluvial, de capinação e roçagem, de manutenção de áreas verdes, de varrição de logradouros e vias públicas, de limpeza de feiras-livres e mercados municipais) e de saúde.

Desde sua urbanização, o município de Ji-Paraná não dispõe de uma área adequada para a disposição de seus resíduos sólidos, sendo os mesmos, atualmente, dispostos em uma lixeira controlada, segundo o Plano de Gerenciamento Ambiental da Lixeira Controlada do

Município de Ji-Paraná (2008), que as definem como um método para a disposição final de resíduos sólidos urbanos e resíduos de serviço de saúde, sobre terreno natural, através de seu confinamento em camadas de solo, sem promover a coleta e tratamento do chorume e biogás produzido pela massa do resíduo. Esse método passou a ser adotado a partir do ano de 2008, sendo os resíduos gerados anteriormente dispostos em áreas caracterizadas como lixões, conforme descreve o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) que visa à reparação das antigas áreas de lixões no município.

Esses tipos de deposição não atendem ao Plano Nacional dos Resíduos Sólidos descrito na lei nº 12.303/2010 a qual prevê que uma disposição final ambientalmente adequada possua a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS

Localizado a uma latitude 10°53'07'' sul e a uma longitude 61°57'06'' oeste, estando a uma altitude de 170 metros, com uma área territorial de 6.897 km<sup>2</sup> representando 2,903% do Estado; 0,719% da Região Norte e 0,0812% de todo o território brasileiro, o município de Ji-Paraná classifica-se como cidade de médio porte (Plano..., 2012). Com uma população urbana de 116.587 habitantes (IBGE, 2010) e uma geração média de resíduos de 63 ton.dia<sup>-1</sup> (Plano..., 2012), perfazendo a per capita de 0,54 kg.dia.hab<sup>-1</sup>.

As áreas de estudo selecionadas para o desenvolvimento desta pesquisa correspondem à Lixeira Controlada Ativa, localizada na estrada do Km11, lotes 37 e 37<sup>a</sup>, seção B do loteamento rural denominado Gleba Pyrineos, com coordenadas geográficas 10°48'38''S e 62°00'07''W; e ao Lixão Inativo do município de Ji-Paraná, localizado nos limites da Rua Guatemala e Linha União, no Bairro Boa Esperança, com coordenadas geográficas 10°51'30''S e 61°54'10''W.

De acordo com o Plano de Gerenciamento Ambiental (2008) da Lixeira Controlada Ativa, o uso do solo está caracterizado como uso agropecuário de pequenas propriedades, tendo boa aptidão para agricultura, com profundidade do lençol freático de 10 a 15 metros e com residências no entorno, sendo possível observar o abandono de algumas áreas, provavelmente devido à instalação da lixeira. Já o Lixão Inativo, segundo seu Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD (2008) encontra-se atualmente em uma área urbanizada, compreendendo o Bairro Boa Esperança, distante aproximadamente 800 metros do Rio Nazaré, afluente do Rio Ji-Paraná. Quando em atividade, havia apenas algumas chácaras no entorno, ficando o lixão em operação entre os anos 1993 e 1998. Após sua desativação, não houve qualquer tipo de tratamento ou recuperação da área, tal recuperação foi antevista apenas em 2008 com o PRAD, onde se previa a remoção dos resíduos, a preparação do solo, isolamento da área e replantio de mudas.

Na lixeira controlada ativa foram coletadas 7 (sete) amostras de solo, 6 (seis) em pontos distribuídos próximos às áreas de deposição de lixo e 1(um) ponto controle (figura 1), conforme as características de cada ponto (tabela 1). No lixão inativo foram coletadas 5 (cinco) amostras, sendo 4 (quatro) pontos distribuídos em sua área e 1(um) ponto controle (figura 2). A caracterização dos pontos do lixão inativo é apresentada na tabela 2.

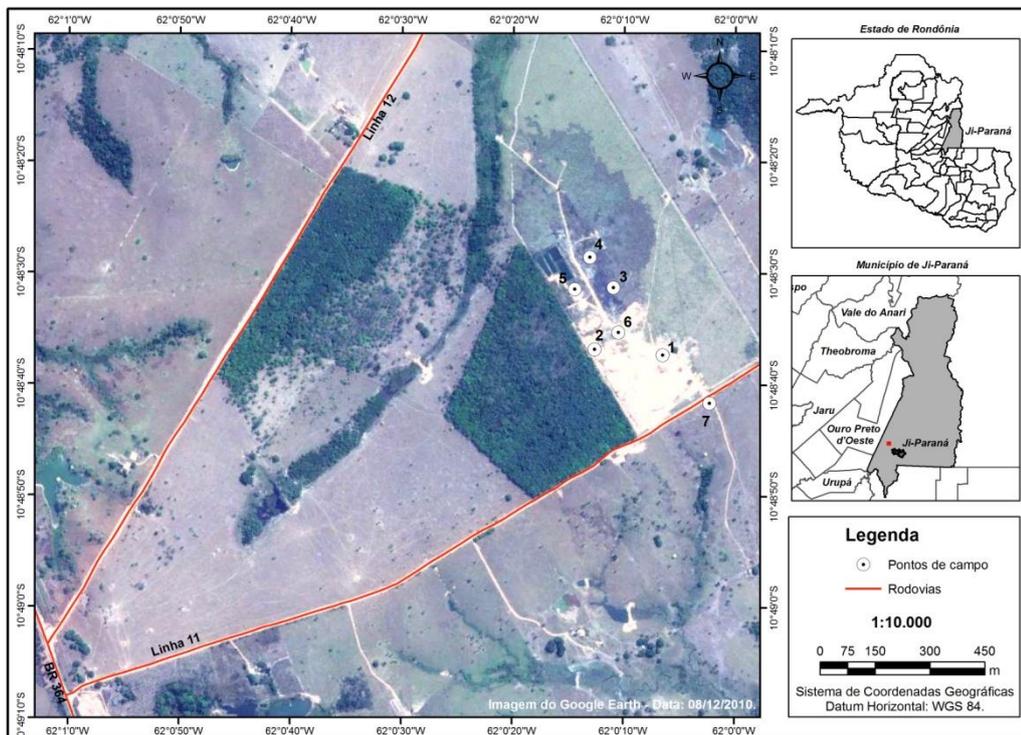
As amostras dos pontos controles foram coletadas em área de pasto em fazendas próximas às áreas de deposição de resíduos, tanto para o lixão inativo, quanto para a lixeira controlada ativa. Tais amostras foram utilizadas como condição natural do solo, admitindo que não havia contaminação direta por metais pesados, visto que, segundo Fadigas et al. (2006) para avaliar a extensão da poluição de uma área, é comum se comparar os teores totais de metais pesados encontrados em determinada amostra de solo com aqueles encontrados em condições naturais (não poluídos) ou com valores de referência. É válido ressaltar que a princípio desejou-se utilizar como pontos controle para as duas áreas de estudo, regiões florestadas, visto que a presença de pasto já confere uma paisagem modificada, entretanto devido a impossibilidade de coletar em áreas florestadas próximas as áreas de estudo, as áreas de pastagens foram utilizadas como controle.

**Tabela 1.** Descrição e localização dos pontos coletados na Lixeira Controlada Ativa.

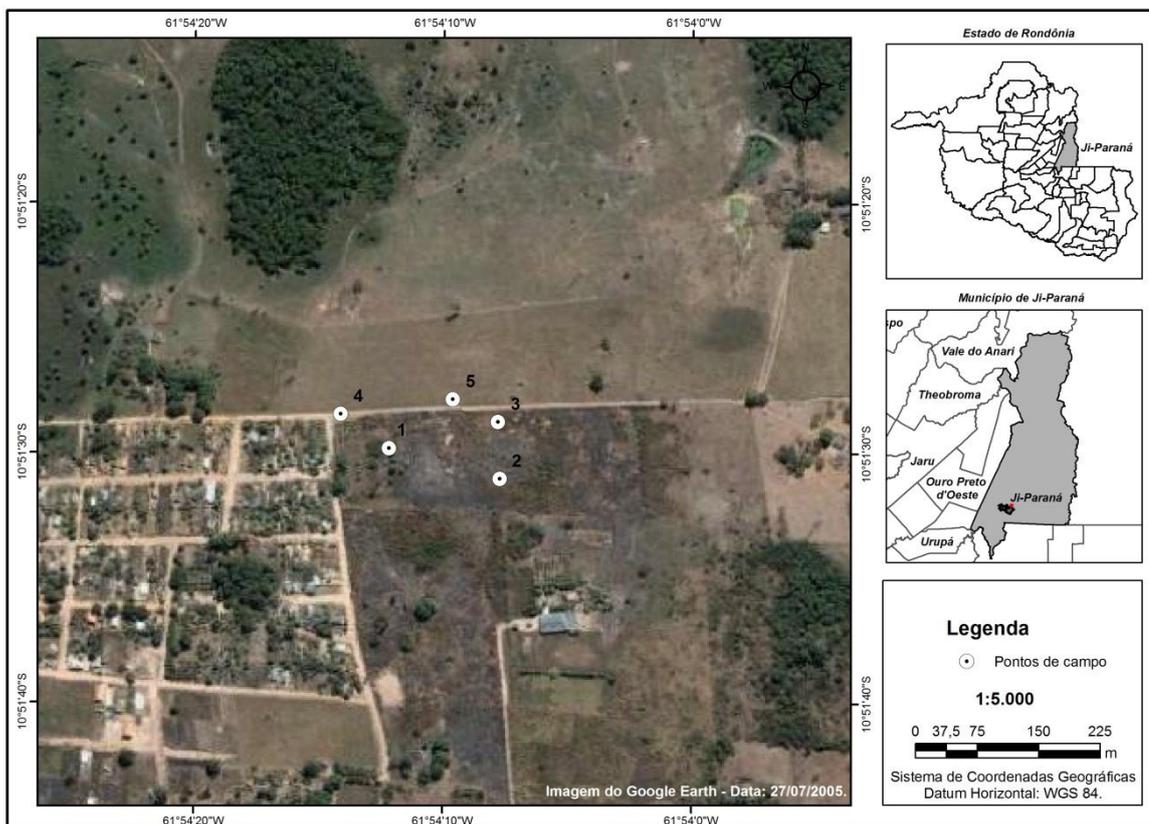
PONTO	DESCRIÇÃO	COORDENADAS	
		X	Y
P1	Entrada da lixeira	06°09'17"	88°04'85"
P2	Próximo à deposição de lixo hospitalar	06°08'98"	88°04'86"
P3	Próximo à Célula de deposição dos resíduos ativa	06°09'04"	88°05'03"
P4	Presença de resíduos de construção civil	06°08'97"	88°05'12"
P5	Próximo as lagoas de despejo de esgoto	06°08'93"	88°05'03"
P6	Escoamento da água da chuva (presença de chorume aflorante no período chuvoso)	06°09'05"	88°04'91"
P7	Ponto controle (fazenda em frente a lixeira)	06°09'29"	88°04'72"

**Tabela 2.** Descrição e localização dos pontos coletados no Lixão Inativo.

PONTO	DESCRIÇÃO	COORDENADAS	
		X	Y
P1	Presença de cinzas em Junho / Vegetação reconstituída em Novembro.	06°19'91"	87°99'50"
P2	Presença de vidro e plástico em Junho / Vegetação reconstituída em Novembro.	06°20'04"	87°99'47"
P3	Presença de <i>Ricinus communis</i> L., popularmente conhecida como mamona.	06°20'04"	87°99'54"
P4	Ponto de escoamento da água da chuva.	06°19'85"	87°99'55"
P5	Ponto controle (fazenda aos fundos do lixão).	06°19'98"	87°99'56"



**Figura 1.** Distribuição dos pontos amostrados na área da lixeira controlada ativa. Fonte: Gomes, 2013.



**Figura 2.** Distribuição dos pontos amostrados na área do lixão inativo. Fonte: Gomes, 2013.

As amostras de solo foram coletadas nos meses de junho de 2011, sendo considerado o período de estiagem, e novembro de 2011, que corresponde ao período chuvoso, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (2011) da região que abrange o município de Ji-Paraná.

## 2.2. COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO

A coleta do solo superficial foi realizada com auxílio de enxada, descartando a camada superior (aproximadamente 10cm) e coletando a amostra na camada subsequente, com profundidade aproximada de 30cm. Após coletadas, as amostras de solo foram identificadas, acondicionadas em sacos plásticos (FIGURA 3) e mantidas resfriadas até o momento da análise.



**Figura 3.** Coleta e identificação das amostras de solo. Fonte: Fotopoulos (2011).

## 2.3. EXTRAÇÃO QUÍMICA DOS METAIS PESADOS DAS AMOSTRAS DE SOLO

A metodologia adotada foi *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA (1971). No laboratório, o solo foi umedecido com água ultrapura, peneirado em peneira inox com malha de 200mesh e colocado em estufa a 35°C para secagem. Concluído este procedimento, o solo foi macerado com auxílio de cadinho e pistilo

de porcelana (FIGURA 4).



**Figura 4.** Umidificação do solo, peneiramento e maceração do solo para digestão. **Fonte:** Organizador (2012).

Após maceração, foram pesados aproximadamente 2g de solo (peso seco) em Becker com capacidade de 80mL. Posteriormente adicionaram-se 15mL de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ) e 2mL de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Em seguida as amostras foram colocadas em placa aquecedora ( $100 \pm 5^\circ\text{C}$ ) a fim de acelerar o processo de extração química.

Após a evaporação do  $\text{HNO}_3$ , adicionou-se em cada amostra 10mL de ácido clorídrico concentrado ( $\text{HCl}$ ). Posteriormente, as amostras foram novamente submetidas à placa aquecedora ( $100 \pm 5^\circ\text{C}$ ). Após a quase total evaporação dos reagentes adicionados, as amostras foram ressuspensas com 10mL de ácido clorídrico 0,1N. Em seguida as amostras foram filtradas por gravidade em papel de filtro (Whatmam 44), adicionadas em tubos de teflon e aferidas com água ultrapura ao volume final de 15mL (FIGURA 5).



**Figura 5.** Pesagem, adição dos reagentes, digestão do solo para extração química dos metais em chapa aquecedora e filtragem das amostras. **Fonte:** Organizador (2012).

Todo procedimento analítico transcorreu com a presença de “brancos”, visando quantificar qualquer tipo de contaminação durante o processo de extração química. As concentrações dos elementos analisados obtidas nas análises dos brancos foram subtraídas das concentrações detectadas para cada amostra.

#### **2.4. DETECÇÃO DOS METAIS PESADOS NAS AMOSTRAS DE SOLO**

As análises quantitativas dos metais pesados foram realizadas através da técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama (GBC, Avanta). Os comprimentos de onda utilizados para determinação de cada elemento foram: Cu = 324,7; Mn = 403,1; Zn = 213,9; Cr = 357,9; Ni = 232,0; e Pb = 217,0), com chama de ar-acetileno(FIGURA 6).



**Figura 6.** Espectrofotômetro de absorção atômica por chama e leitura dos metais. **Fonte:** Organizador (2012)

## 2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O tratamento estatístico foi realizado no intuito de verificar se há diferença estatística nas concentrações dos elementos estudados entre os períodos de estiagem e chuvoso. Em decorrência de ter sido possível a realização das coletas e análises em 7 pontos distribuídos na lixeira controlada ativa e 5 pontos no lixão inativo, utilizou-se teste não paramétrico, o qual não requer pressuposto de normalidade. Para tanto as médias de cada elemento para cada período foram analisadas através do método de *Wilcoxon* com nível de significância de 5%, utilizando-se o software *STATISTICA 7.0*.

## 2.6. VALORES ORIENTADORES

No intuito de contribuir para melhor discussão dos resultados obtidos no presente estudo, além de comparar e discutir os resultados com outros trabalhos acadêmicos na mesma temática, os resultados também foram comparados com os parâmetros preconizados pela resolução do CONAMA n° 420 de 28 de dezembro de 2009 e também com a Decisão de Diretoria da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB N° 195-2005-E de 23 de novembro de 2005. Tal decisão diretória será utilizada pois a resolução 420/2009 do

CONAMA não apresenta Valores de Referência de Qualidade - VRQs para substâncias químicas em amostras de solo, visto que segundo o artigo 8º, capítulo II da referida resolução, os VRQs deverão ser estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes de cada estado até 28 de novembro de 2013. Em decorrência de apenas o estado de São Paulo ter estipulado os VRQs para sua região, a decisão diretória da CETESB (2005) será utilizada.

Entretanto, a resolução 420/2009 do CONAMA, estabelece os valores de prevenção e investigação, por esta razão esta resolução também será utilizada. Segundo tal resolução são considerados valores de referência de qualidade (**VRQ**) as concentrações de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo. O VRQ é estabelecido com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos. Já os valores de prevenção (**VP**), correspondem às concentrações de determinada substância acima das quais podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo (concentração limite). Solos que apresentem concentrações de determinada substância menor ou igual ao VP são capazes de sustentar as suas funções principais, descritas no capítulo I, artigo 3º, parágrafo único, tais como: manter o ciclo da água e dos nutrientes, servir como meio para a produção de alimentos, proteger as águas superficiais e subterrâneas, entre outras.

A resolução 420/2009 do CONAMA estabelece ainda os Valores de Investigação (**VI**) que correspondem às concentrações de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, de acordo com o cenário de exposição. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição Agrícola - Área de Proteção Máxima (APMax), Residencial e Industrial.

Os VRQs referentes aos metais pesados analisados nas amostras de solo do presente trabalho estipulados pela CETESB (2005), bem como os VPs e Vis estipulados pela resolução 420/2009 do CONAMA são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Valores orientadores para solo no estado de São Paulo.

SUBSTÂNCIA	VRQ (mg.kg <sup>-1</sup> ) CETESB (2005)	VP (mg.kg <sup>-1</sup> ) CONAMA (2009)	VI (mg.kg <sup>-1</sup> )		
			Agrícola APMax	Residencial	Industrial
<b>Chumbo</b>	17	72	180	300	900
<b>Cobalto</b>	13	25	35	65	90
<b>Cobre</b>	35	60	200	400	600
<b>Cromo</b>	40	75	150	300	400
<b>Ferro</b>	*	*	*	*	*
<b>Manganês</b>	*	*	*	*	*
<b>Níquel</b>	13	30	70	100	130
<b>Zinco</b>	60	300	450	1000	2000

\*Valores não definidos.

Fonte: CETESB (2005); CONAMA (2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do presente estudo foram quantificadas as concentrações de Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), nas amostras de solo coletadas. Ao comparar os resultados obtidos, com o Valor de Referência de Qualidade (VRQ) preconizado pela decisão de diretoria da CETESB (2005), e com os Valores de Prevenção (VP) e Investigação (VI) estipulados pela resolução CONAMA nº 420/2009, verificou-se que, em alguns dos pontos amostrados, os elementos Cr e Co excederam os VRQs (CETESB, 2005), o elemento Ni excedeu o VP (CONAMA, 2009) e os elementos Cu, Pb e Zn extrapolaram os VIs em algumas das amostras analisadas.

Nas tabelas 4 e 5 são apresentadas as concentrações dos metais nos diferentes pontos e períodos amostrados na lixeira controlada ativa e no lixão inativo, respectivamente.

**Tabela 4.** Concentração de metais pesados nas amostras de solo coletadas na lixeira controlada ativa do município de Ji-Paraná (junho e novembro de 2011).

PONTOS	ELEMENTOS							
	Período Estiagem (Junho/2011)							
	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
1	3,05	98,74	28,85	3,18	7,11	11,09	55.137,99	9,09
2	3,39	105,33	29,47	3,69	5,79	12,87	52.926,65	11,52
3	3,77	121,35	26,74	3,68	6,71	12,66	58.327,53	19,12
4	3,1	267,02	19,18	3,5	354,03	13,26	28.066,73	85,96
5	8,74	534,66	22,92	8,5	421,64	49,92	52.820,98	147,92
6	3,63	242,53	25,57	3,57	7,51	18,36	47.318,88	33,54
7	3,43	226,99	29,8	3,36	4,96	12,59	43.206,57	17,76
PONTOS	Período Chuvoso (Novembro/2011)							
1	1,94	65,98	14,43	5,05	5,92	14,64	28.574,43	2,39
2	5,67	96,24	18,12	64,11	25,67	70,14	20.369,3	159,53
3	9,01	255,88	77,9	13,48	111,52	355,43	13.374,25	474,48
4	1,72	159,29	12,66	4,73	6,13	11,05	34.989,25	22,43
5	1,71	208,15	12,39	4,39	4,57	14,55	19.757,3	13,23
6	2,11	189,32	12,09	4,98	7,14	21,37	40.937,69	25,65
7	2,58	190,17	19,4	4,47	5,24	12,69	28.999,17	11,31

**Tabela 5.** Concentração de metais pesados nas amostras de solo coletadas no lixão inativo (junho e novembro de 2011).

PONTOS	ELEMENTOS							
	Período Estiagem (Junho/2011)							
	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
1	2,84	267,55	15,5	5,3	33,85	55,75	16.115,77	121,63
2	7,93	553,3	32,2	21,97	439,35	184,36	34.868,59	2367,57
3	9,81	556,75	29,88	20,99	195,63	97,76	30.373,3	1007,26
4	4,04	454,69	13,81	20,35	30,89	27,59	16.242,46	138,18
5	1,96	389,34	11,04	3,1	11,66	10,24	9.977,66	25,02
PONTOS	Período Chuvoso (Novembro, 2011)							
1	2,48	156,02	5,75	8,32	31,91	77,76	13.962,21	125,96
2	7,97	65,89	24,8	27,17	140,62	161,02	19.512,55	798,7
3	23,04	199,45	61,33	26,27	208,65	9,38	33.147,12	734,47
4	0,92	434,06	4,11	13,48	5,25	146,75	4.163,68	12,5
5	5,29	262,15	6,73	51,16	8,93	28,37	4.663,86	58,59

### 3.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Através da análise estatística, aplicada aos dados de ambas as áreas estudadas, foi possível observar que para a lixeira controlada ativa (tabela 6) apenas o elemento Fe apresentou concentrações significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre os períodos de estiagem e chuvoso, visto que as concentrações de Fe foram maiores no período de estiagem. Já no lixão inativo (tabela 6), foi possível observar diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os períodos apenas para as concentrações de Mn, que de uma forma geral, também foram maiores no período de estiagem.

**Tabela 6.** Resultados (valores de p) referentes à análise estatística que excederam os valores orientadores e suas respectivas significâncias dos valores encontrados.

Elemento	Lixeira controlada ativa	Lixão Inativo
	Valor de p	Valor de p
Co	0,61	0,50
<b>Mn</b>	0,17	<b>0,04</b>
Cr	0,23	0,50
Ni	0,12	0,34
Pb	0,49	0,22
Cu	0,23	0,89
<b>Fe</b>	<b>0,04</b>	0,13
Zn	0,86	0,13

### 3.1.2. Teores de Fe e Mn Encontrados nas Áreas Avaliadas

As concentrações de Mn e Fe não possuem valores orientadores de prevenção (VP) ou investigação (VI) na resolução 420/2009 do CONAMA, assim como também não possuem valores de referencia de qualidade (VQR) na decisão de diretoria da CETESB (2005). Isso pode ser explicado pela predominância do solo que ocorre em todo país (KER, 1998), inclusive na região do estado de Rondônia, onde, segundo o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (2008) do lixão inativo e o Plano de Gerenciamento Ambiental (2008) da lixeira controlada ativa, a região avaliada possui uma predominância de latossolos vermelho e amarelo, tipos de solos esses que em sua composição possuem naturalmente concentrações elevadas de Fe e Mn.

Martins (2011), em seu trabalho para quantificação dos metais pesados em águas subterrâneas no bairro Boa Esperança do município de Ji-Paraná-RO encontrou, em todos os pontos amostrados no período chuvoso valores de Fe e Mn maiores que os valores de referência estabelecidos pelas resoluções CONAMA 396/2008 ( $300\mu\text{g L}^{-1}$ ) utilizadas em sua pesquisa. A autora relacionou as concentrações de Fe encontradas na água subterrânea ao solo da região (latossolos) e a sua formação por rochas sedimentares, que provém do desgaste de outras rochas. Segundo Kroschwitz (1995) o desgaste natural das rochas contendo minérios de ferro, através do escoamento superficial constitui em fontes naturais de contaminação por ferro.

Volkoff e Cesar (1977), ao analisar concentrações de ferro em amostras de latossolos do estado da Bahia, notaram maiores teores de ferro paralelamente aos teores de argila nas camadas superfície até 1,5m. Após esta profundidade as concentrações permaneceram constantes.

Nascimento et al. (2002), em seu trabalho de dessorção, extração e fracionamento de manganês em latossolos de municípios do estado de Minas Gerais, selecionados de acordo com os teores diferentes de argila e de carbono orgânico, concluiu que as concentrações de Mn que seriam consideradas concentrações naturais dos solos estudados encontraram-se na faixa de 49 a  $1.160\text{mg kg}^{-1}$  e estão relacionadas com o material de origem, ou seja, com a rocha de que são originários.

Nesta pesquisa, para a lixeira controlada ativa, no período de estiagem (junho/2011) obteve-se concentrações de Mn entre  $98,74\text{mg.kg}^{-1}$  a  $534,66\text{mg kg}^{-1}$ , e no período chuvoso concentrações entre  $65,98\text{mg kg}^{-1}$  a  $255,88\text{mg kg}^{-1}$ . Já para o lixão inativo, no período de

estiagem (junho/2011) obteve-se valores entre  $267,55\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $556,75\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  e para o período chuvoso, concentrações entre  $65,89\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $434,06\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Foi observado que para o lixão inativo no período chuvoso os teores totais de Mn foram menores que no período de estiagem, como evidenciado pela análise estatística ( $p=0,04$ ).

Na lixeira controlada ativa, no período de estiagem (junho/2011) as concentrações de Fe variaram entre  $28.066,73\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $58.327,53\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . No período chuvoso as concentrações variaram entre  $13.374,25\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $40.937,69\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Já para o lixão inativo, no período de estiagem (junho/2011) as concentrações variaram entre  $9.977,66\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $34.868,59\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  e para o período chuvoso, concentrações de  $4.163,68\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $33.147,12\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Observa-se que no período chuvoso os teores de Fe, assim como o Mn, foram menores que no período de estiagem, tais diferenças entre os períodos foi evidenciada pela análise estatística ( $p=0,04$ ) para a lixeira controlada ativa.

Gomes (2009) em avaliando as concentrações de metais pesados na região do alto do Rio Madeira, no estado de Rondônia, constatou como relatado por Campos et al. (2003) que os Latossolos brasileiros diferenciam-se entre si principalmente pela coloração e pelos teores de óxidos de ferro. Tal constatação também foi evidenciada tendo em vista a maior concentração média de Fe encontrada na classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos ( $23.126,96\pm 10.913,64\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) comparada a média dos Latossolos Amarelos ( $20.976,03\pm 40.68,29\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Os Latossolos Amarelos (LA) também se destacaram com a maior concentração média do elemento Mn ( $432,66\pm 353,38\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

Desta forma, as concentrações de Fe e Mn encontradas por Gomes (2009) são próximas às concentrações encontradas no presente estudo.

Oliveira e Jucá (2004), em seu estudo sobre o acúmulo de metais pesados e a capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos em Recife-PE, constataram que o ferro e o alumínio foram os metais mais acumulados pelo solo, alcançando valores de aproximadamente  $4.000\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Ressalta-se que, nesse aterro, entre os anos de 1986 a 1994, a área foi utilizada como depósito de lixo a céu aberto e atualmente opera um aterro controlado.

Desta forma, Oliveira e Jucá (2004) justificaram as elevadas concentrações de Fe e Al encontradas à lixiviação do solo de cobertura das células, ocasionada através da ação da água de chuva. Os autores também relacionaram os resultados obtidos à corrosão e/ou biodeterioração de materiais confinados, como peças metálicas.

No presente trabalho foram encontradas concentrações de Fe na ordem  $58.327,53\text{mg.kg}^{-1}$ , superior em aproximadamente 15 vezes ao estudo de Oliveira e Jucá (2004). Tal resultado relaciona-se não somente a presença de materiais confinados na lixeira controlada ativa e no lixão inativo, mas também as características do solo local (latossolo).

Hypólito e Ezaki (2006), ao quantificarem os íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo-SP, constataram que os solos impactados pelo contato com chorume (quando comparados a solos não impactados por chorume) mostraram elevados teores de metais pesados devido fenômenos de adsorção/precipitação. Já no presente trabalho, para os elementos (Fe e Mn) em que foi possível constatar diferenças entre os períodos estudados, as maiores concentrações foram encontradas em junho de 2011, período de estiagem.

Os resultados encontrados por Hypólito e Ezaki (2006) podem ser remetidos às considerações feita por Santos (2006), que ao quantificar as concentrações de metais pesados em amostras de solo da lixeira urbana de Porto Velho (Rondônia) em diferentes períodos, observou que a concentração média de todos os elementos foi maior no período de maior precipitação (com exceção do Fe que se manteve constante) do que no período de estiagem. A referida autora relata que nessa época o chorume encontrava-se em maior abundância, e conseqüentemente, o chorume contribuiria para uma maior disponibilidade de metais no solo.

Nos tópicos que se seguem, serão discutidas e apresentadas, através de mapas temáticos, as concentrações dos metais pesados detectados nas amostras de solo que se apresentaram acima dos VQRs (CETESB, 2005), VP e VI (CONAMA, 420/2009), oriundas das duas áreas de estudo.

### **3.2. METAIS PESADOS QUE APRESENTARAM CONCENTRAÇÕES ACIMA DOS VALORES ORIENTADORES (VRQ, VP E VI)**

A resolução CONAMA nº 420/ 2009, Capítulo II, Artigo 13º, traz em seu texto as classificações para os solos, segundo a concentração de substâncias químicas. Ficando estabelecidas as seguintes classes de qualidade dos solos (TABELA 7):

**Tabela 7.** Classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas ( resolução CONAMA nº 420/2009).

<b>Classes de Qualidade dos Solos</b>	<b>Descrição</b>	<b>Procedimento de Prevenção e Controle da Qualidade dos Solos</b>
Classe I	Apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ.	Não requer ações.
Classe II	Apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP.	Poderá requerer uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos de ações preventivas de controle, quando couber, não envolvendo necessariamente investigação.
Classe III	Apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI.	Requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea.
Classe IV	Apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.	Requer as ações estabelecidas no Capítulo IV da resolução CONAMA nº 420/2009.

**Fonte:** CONAMA (2009).

Dentre os elementos que excederam os valores orientadores VRQ (CETESB, 2005), VP e VI (CONAMA, 2009) em um número maior de amostras analisadas nas duas áreas de estudo, estão o Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). Ocasionalmente, o Cobalto (Co) e o Cromo (Cr) também se apresentaram em concentrações acima do VRQ recomendado pela CETESB (2005). A seguir são apresentados os resultados e discussões a respeito dos metais supracitados.

### 3.2.1. Cobre (Cu)

As figuras 7 e 8 apresentam os mapas temáticos com as concentrações de Cu encontradas na lixeira controlada ativa no período de estiagem (junho) e chuvoso (novembro), respectivamente. As figuras 9 e 10 apresentam a distribuição espacial das concentrações de Cu no lixão inativo no período de estiagem e chuvoso, respectivamente.

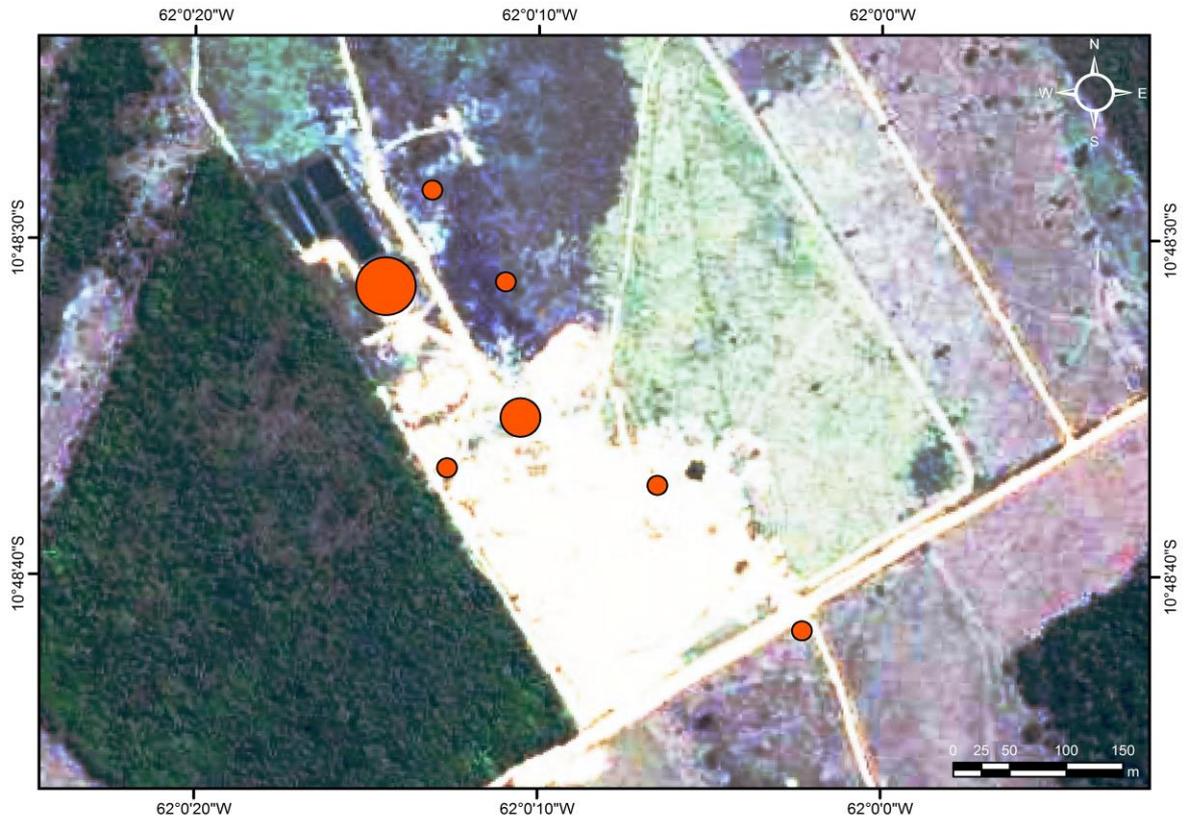
Na lixeira controlada ativa, para o período de estiagem (junho/2011), observou-se que, apenas no ponto 5 ( $49,92\text{mg.Kg}^{-1}$ ), apresentou concentrações maiores que o VQR estabelecido pela CETESB (2005) que é de  $35\text{mg.Kg}^{-1}$ . Este ponto se localiza ao lado da lagoa de despejo de esgoto por caminhões limpa fossas. Já no período chuvoso (novembro/2011), os pontos 2 (caracterizado por material de aterro próximo a célula de resíduos de serviço de saúde) e 3 (próximo a célula ativa) extrapolaram o valor estabelecido pela CETESB (2005), atingindo  $70,14$  e  $355,43\text{mg.Kg}^{-1}$ , respectivamente. Ressalta-se ainda que, no ponto 2, as concentrações obtidas foram maiores que o VP ( $60\text{mg.Kg}^{-1}$ ) e no ponto 3 excedeu-se o VI para a área agrícola ( $200\text{mg.Kg}^{-1}$ ), ambos determinados pela resolução nº 420/2009 do CONAMA.

No lixão inativo, os pontos que excederam o VRQ para Cu ( $35\text{mg.Kg}^{-1}$ ) no período de estiagem foram os pontos 1 com  $55,75\text{mg.Kg}^{-1}$ ; ponto 2 com  $184,36\text{mg.Kg}^{-1}$  e o ponto 3 com  $97,76\text{mg.Kg}^{-1}$ . Ressalta-se ainda que os pontos 2 e 3 também ultrapassaram o VP ( $60\text{mg.Kg}^{-1}$ ) estabelecido pela resolução nº 420/2009 do CONAMA. Para o período chuvoso, os pontos 1 ( $77,76\text{ mg.Kg}^{-1}$ ), 2 ( $161,02\text{ mg.Kg}^{-1}$ ) e 4 ( $146,75\text{ mg.Kg}^{-1}$ ) excederam o VQR estabelecido pela CETESB (2005) e o VP ( $60\text{mg.Kg}^{-1}$ ) estabelecido pela resolução 420/2009 do CONAMA.

Nos pontos controle das duas áreas analisadas, P7 (lixeira controlada ativa) e P5 (lixão inativo) as concentrações de Cu não ultrapassaram o VRQ estabelecido pela CETESB (2005), o que significa que as concentrações de Cu encontradas nestas áreas estão dentro da normalidade, caracterizando um solo natural, ou seja, não antropizado, conforme decisão CETESB (2005) adotada para solos do estado de São Paulo.

As concentrações acima dos VRQs devem ser analisadas com cautela e merecem especial atenção, pois de acordo com a resolução nº 420/2009 do CONAMA os valores encontrados podem indicar o início de uma contaminação, como também podem ser teores

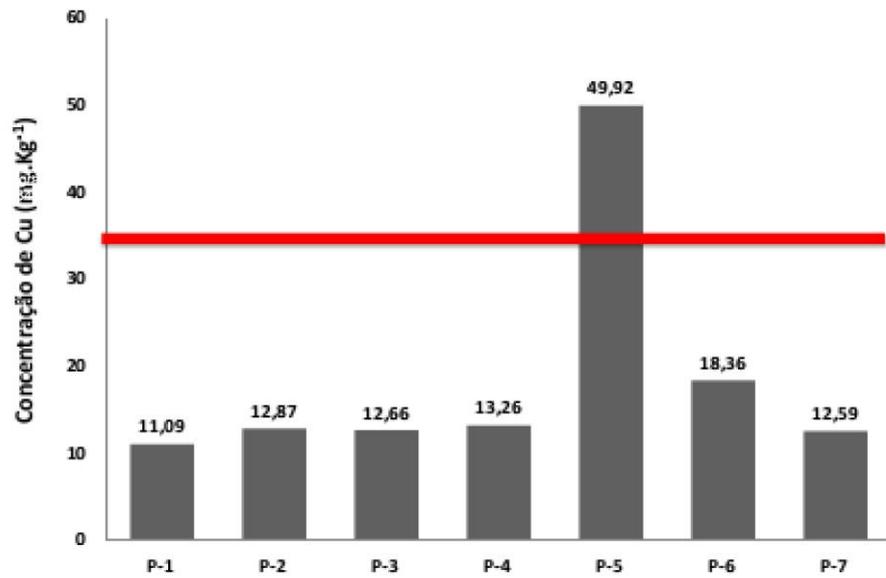
naturais do solo da região, cabendo então um estudo mais aprofundado.



### Concentração de Cobre (mg.kg<sup>-1</sup>)

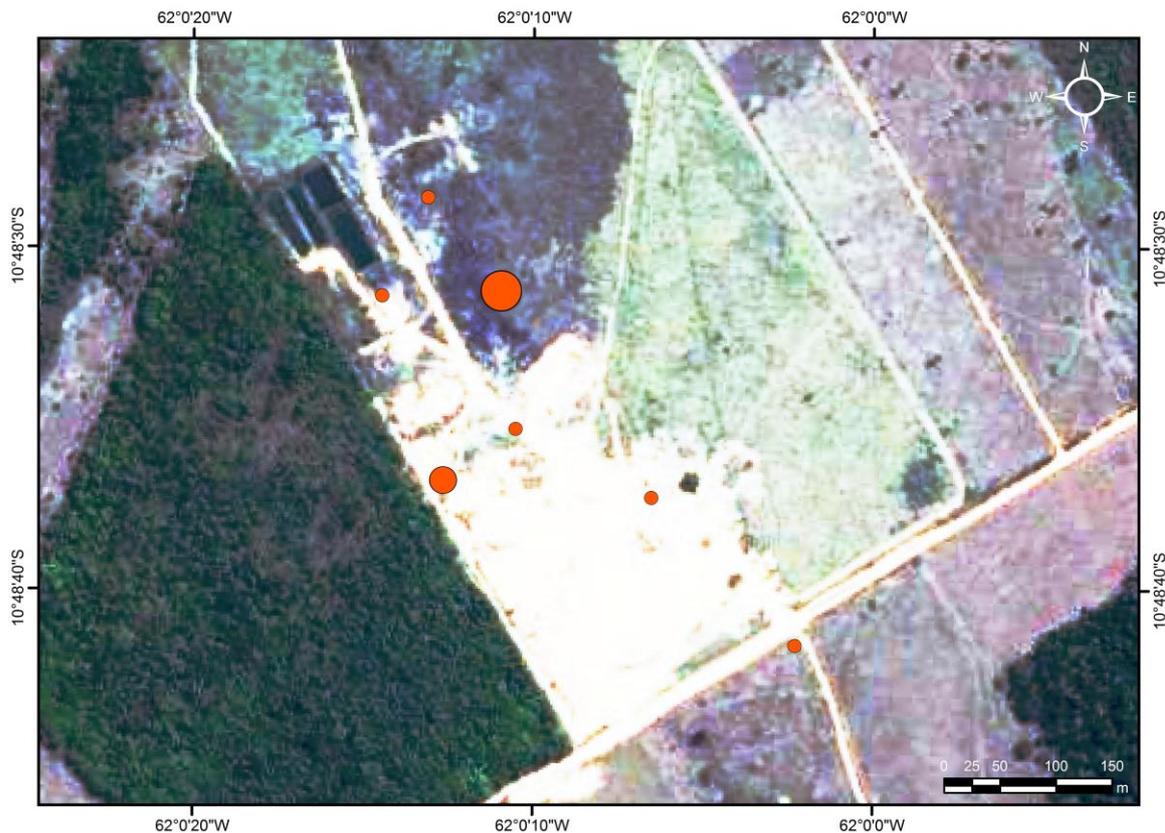
- 11,09 - 13,26
- 13,27 - 18,36
- 18,37 - 49,92

Valor de Referência – CETESB (2005) —



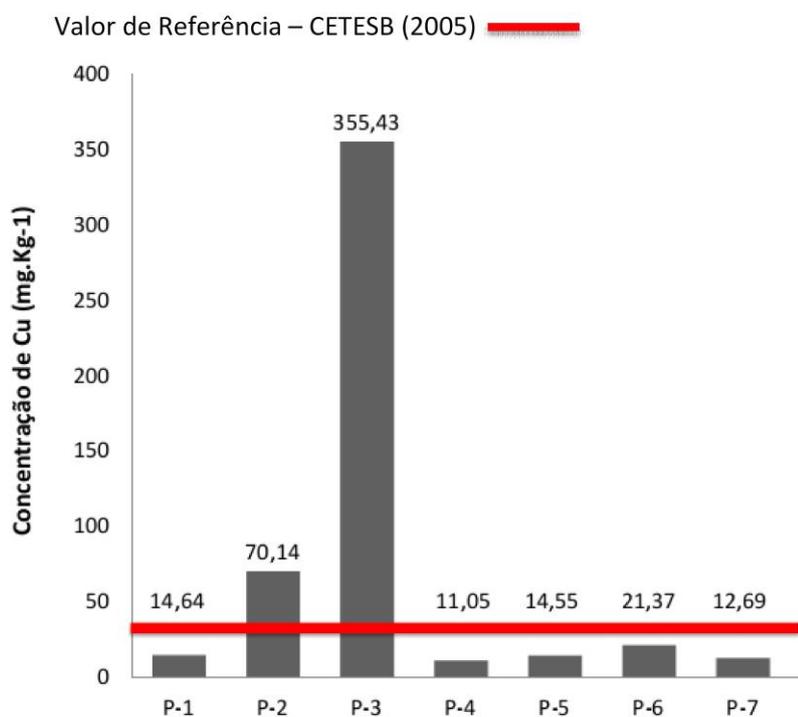
Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

**Figura 7.** Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas na lixeira controlada ativa no período de estiagem – junho/2011.



**Concentração de Cobre (mg.kg-1)**

- 11,05 - 21,37
- 21,38 - 70,13
- 70,14 - 355,43



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

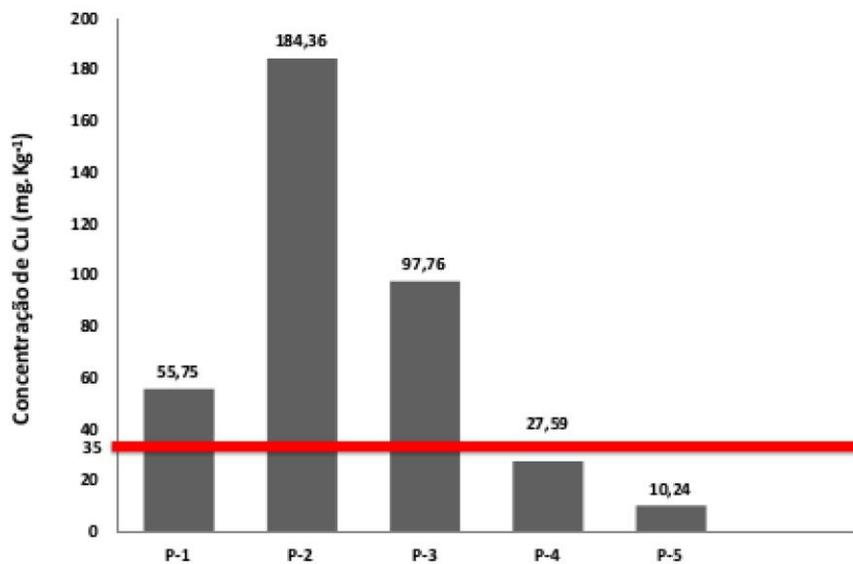
**Figura 8.** Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.



**Concentração de Cobre (mg.kg-1)**

- 10,24 - 27,59
- 27,60 - 97,76
- 97,77 - 184,36

Valor de Referência – CETESB (2005) —



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007

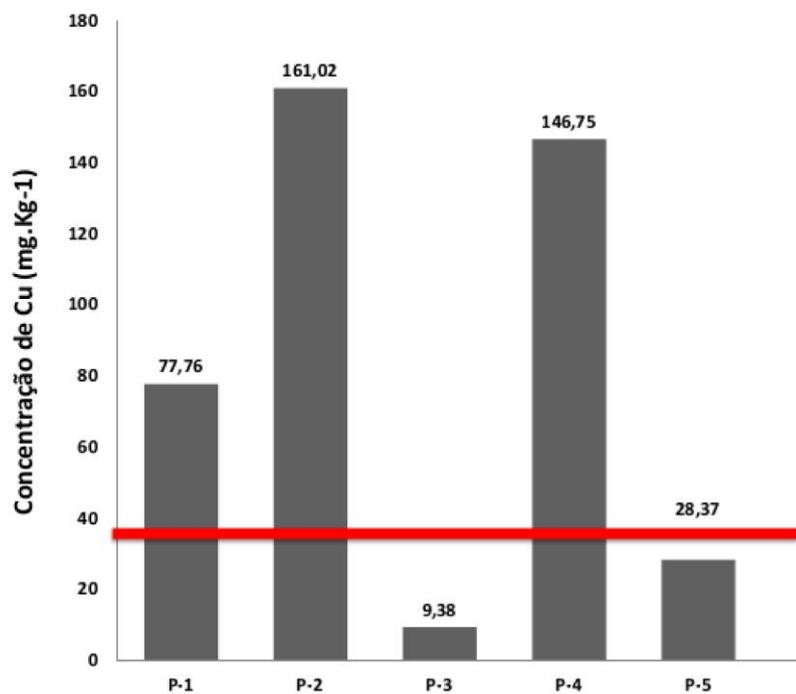
**Figura 9.** Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.



**Concentração de Cobre (mg.Kg-1)**

- 9,38 - 28,37
- 28,38 - 77,76
- 77,77 - 161,02

Valor de Referência – CETESB (2005) —



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

**Figura 10.** Distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.

Sisinno e Moreira (1996) realizaram uma pesquisa sobre a avaliação da contaminação por metais pesados na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu localizado no município de Niterói-RJ. O aterro em questão operava desde 1983, e continuava em operação até a data da pesquisa, onde em suas proximidades situavam-se várias residências, inclusive um sítio limítrofe à área de despejo e casas de loteamento, com cerca de 200 pessoas domiciliadas. Foram analisadas amostras de solo coletadas no sítio e em ruas do loteamento. Também foram coletadas amostras de sedimento do aterro e de um córrego próximo. Para o elemento Cu, os solos do sítio demonstraram concentrações de  $6,3\text{mg.Kg}^{-1}$ ; nos solos das ruas do loteamento as concentrações foram menores que  $0,04\text{ mg.Kg}^{-1}$ . Nos sedimentos do aterro foram encontradas concentrações de  $58,0\text{mg.Kg}^{-1}$  e para os sedimentos do córrego as concentrações foram de  $5,5\text{mg.Kg}^{-1}$ . Os valores mais acentuados nos solos e sedimentos são justificados em decorrências da característica do metais ficarem adsorvido a partículas orgânica e inorgânicas, indicando uma tendência à retenção dos metais pesados por estas partículas.

Ao analisar os valores encontrados por Sisinno e Moreira (1996), é possível encontrar similaridade das características dos sedimentos do aterro com o ponto 3 da lixeira controlada ativa, visto que ambos apresentavam grande quantidade de matéria orgânica e depósito frequente de resíduos (próximo a células ativas). Entretanto, na presente pesquisa as concentrações de Cu foram maiores que as encontradas por Sisinno e Moreira (1996), chegando a exceder o VI para área agrícola ( $200\text{ mg.Kg}^{-1}$ ), com  $355,43\text{mg.Kg}^{-1}$ .

Fortunato (2009) ao avaliar o comportamento de metais pesados em áreas de manguezal associadas a antigo lixão no município de Santos/SP, constatou teores de cobre no solo acima do VI para solo de área industrial, estipulado pela resolução CONAMA nº 420/2009, que corresponde a  $600\text{mg.Kg}^{-1}$ . O autor relata que tal resultado provavelmente relaciona-se ao fato de a área ter sido utilizada como local de disposição de resíduos sólidos oriundos de atividades relacionadas às operações do Porto de Santos-SP. Tal autor encontrou concentrações na ordem de  $910\text{mg.Kg}^{-1}$  de cobre em amostras de solo, sendo a média dos pontos amostrados de aproximadamente  $219\text{mg.Kg}^{-1}$ .

As elevadas concentrações de Cu encontradas por Fortunato (2009) foram maiores que as concentrações encontradas na presente pesquisa. O autor relata ainda que tais concentrações certamente estejam relacionadas ao tempo de atividade do lixão o qual estava em atividade nos últimos 50 anos. Entretanto, no presente estudo foram encontradas

concentrações de Cu acima do VRQ nas duas áreas de estudo.

Santos (2006), ao quantificar a concentração de metais pesados na lixeira urbana de Porto Velho-RO, encontrou concentrações de cobre entre  $1,07\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $892,78\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Altas concentrações de cobre na camada superficial do solo são uma indicação da adição de fertilizantes, lodos de esgoto e outros resíduos, fungicidas ou bactericidas, ou estrumes de suínos e cavalos (TAKAMATSU, 1995). O P5 da lixeira controlada ativa localiza-se próximo às lagoas de disposição de efluentes (figura 11), de forma que o solo ali presente constantemente entra em contato com tais efluentes devido aos lançamentos destes pelos caminhões limpa fossas. No mês de junho, este ponto apresentou  $49,92\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de Cu, o que correspondeu a maior concentração encontrada deste elemento para área. Desta forma, é possível que tal resultado esteja relacionado ao contato constante do solo com os efluentes lançados na lagoa.



**Figura 11.** Coleta ao ponto 5 realizada ao lado de lagoa de despejo de esgoto. **Fonte:** Fotopoulos (2011).

O cobre, segundo Martins (2011), tem como principais fontes as indústrias de mineração, fundição e refinação. Pode ter origem também de fabricantes de canalizações de água quente, fios elétricos, radiadores de automóveis e tratamento de superfícies metálicas.

Certamente, muitos destes materiais foram (lixão inativo) e são (lixeria controlada ativa) descartados nas áreas de deposição de resíduos do município de Ji-Paraná, visto que o

mesmo não dispõe de aterro para resíduos industriais.

Segundo Mellis (2006), o cobre também é encontrado na composição de algumas pilhas disponíveis no mercado, as quais também foram e são descartadas nas áreas de deposição de lixo de Ji-Paraná, visto que o município não possui coleta seletiva e não conta com programa para recolhimento destes materiais.

Gnipper (2013), em seu trabalho sobre durabilidade de encanamentos e instalações hidráulicas constatou que são necessários mais de 80 anos para a corrosão dos tubos feitos com Cu, com conexões de cobre/bronze, quando expostos a água não agressiva. Mas, quando protegidos de intempéries, sua duração pode ser infinita.

Entretanto, através dos mapas de distribuição espacial das concentrações de cobre encontradas em solos da lixeira controlada ativa e do lixão inativo durante o período estudado, foi possível observar que de uma maneira geral, as maiores concentrações de cobre foram encontradas nas amostras de solo do lixão inativo. Provavelmente este resultado relaciona-se ao fato de neste local os materiais depositados já se encontrarem em intenso processo de decomposição, disponibilizando os metais que constituem os diferentes materiais ali depositados, para o meio ambiente.

Martins (2011), em seu estudo para avaliação da qualidade da água subterrânea em área de influência do lixão inativo no bairro Boa Esperança em Ji-Paraná-RO, constatou que as concentrações de Cu não excederam a concentração preconizada pela resolução CONAMA n° 396/2008.

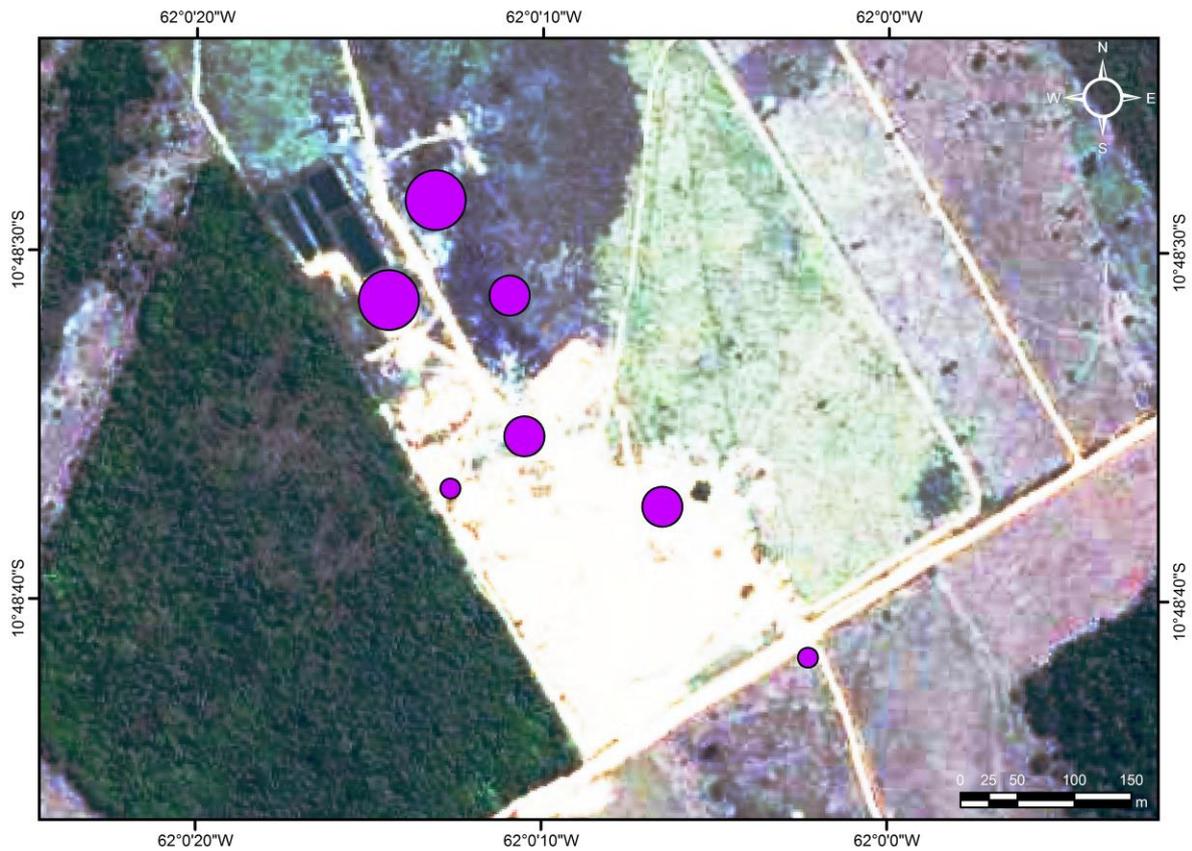
### **3.2.2. Chumbo (Pb)**

Na coleta realizada em junho (período estiagem) na lixeira controlada ativa, o Pb apresentou concentrações maiores que o VRQ estipulado pela CETESB (2005), que corresponde a  $17\text{mg.Kg}^{-1}$ , nos pontos 4 ( $354,03\text{mg.Kg}^{-1}$ ) e 5 ( $421,64\text{mg.Kg}^{-1}$ ). Esses mesmos pontos superaram os valores de investigação estipulados pela resolução 420/2009 do CONAMA que é de  $180\text{mg.Kg}^{-1}$  para área agrícola e  $300\text{mg.Kg}^{-1}$  para áreas residenciais, entretanto foram menores que o valor de investigação para área industrial ( $900\text{mg.Kg}^{-1}$ ). Tais resultados caracterizam solos impróprios para agricultura e moradia, pois, segundo a mesma resolução, representam riscos potenciais, diretos e indiretos à saúde humana. Em novembro (período chuvoso) apenas o ponto 3 ( $111,52\text{mg.Kg}^{-1}$ ) apresentou concentração maior que o VRQ ( $17\text{mg.Kg}^{-1}$ ).

No lixão inativo, em junho (período de estiagem), as concentrações de Pb ultrapassaram o VRQ nos pontos 1 ( $33,85\text{mg.Kg}^{-1}$ ), 2 ( $439,35\text{mg.Kg}^{-1}$ ), 3 ( $195,63\text{mg.Kg}^{-1}$ ) e 4 ( $30,89\text{mg.Kg}^{-1}$ ). Quanto ao valor de prevenção ( $72\text{mg.Kg}^{-1}$ ), em novembro, os pontos 2 ( $140,62\text{mg.Kg}^{-1}$ ) e 3 ( $208,65\text{mg.Kg}^{-1}$ ), ultrapassaram o mesmo, destacando-se ainda que o ponto 3 ultrapassou o valor de investigação para solo agrícola ( $180\text{mg.Kg}^{-1}$ ).

Desta forma foi possível verificar que, para o elemento Pb, em ambas as áreas estudadas foram encontrados valores acima das concentrações que seriam encontradas em um solo limpo (não poluído) conforme definição de valor de referência de qualidade (VRQ) apresentada pela CETESB (2005); ou ainda, estão acima do que seria a qualidade natural do solo, como definido pela resolução CONAMA nº 420/2009. Os pontos controle de ambas as áreas, apresentaram concentrações de Pb menores que o VRQ ( $17\text{mg.kg}^{-1}$ ).

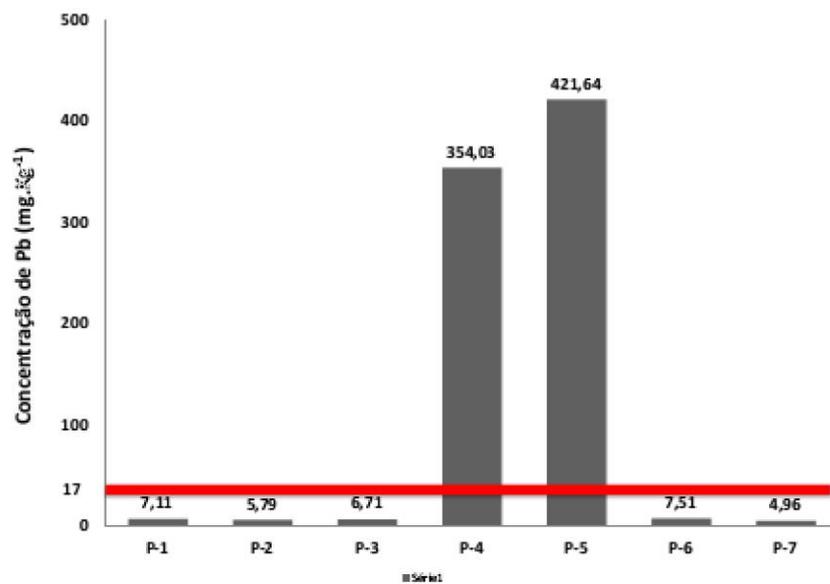
A distribuição espacial das concentrações de Pb, na lixeira controlada ativa no período de estiagem (junho) e chuvoso (novembro), são apresentadas nas figuras 11 e 12. As figuras 13 e 14 apresentam a distribuição espacial das concentrações de Pb no lixão inativo no período de estiagem e chuvoso, respectivamente.



**Concentração de Chumbo (mg.kg-1)**

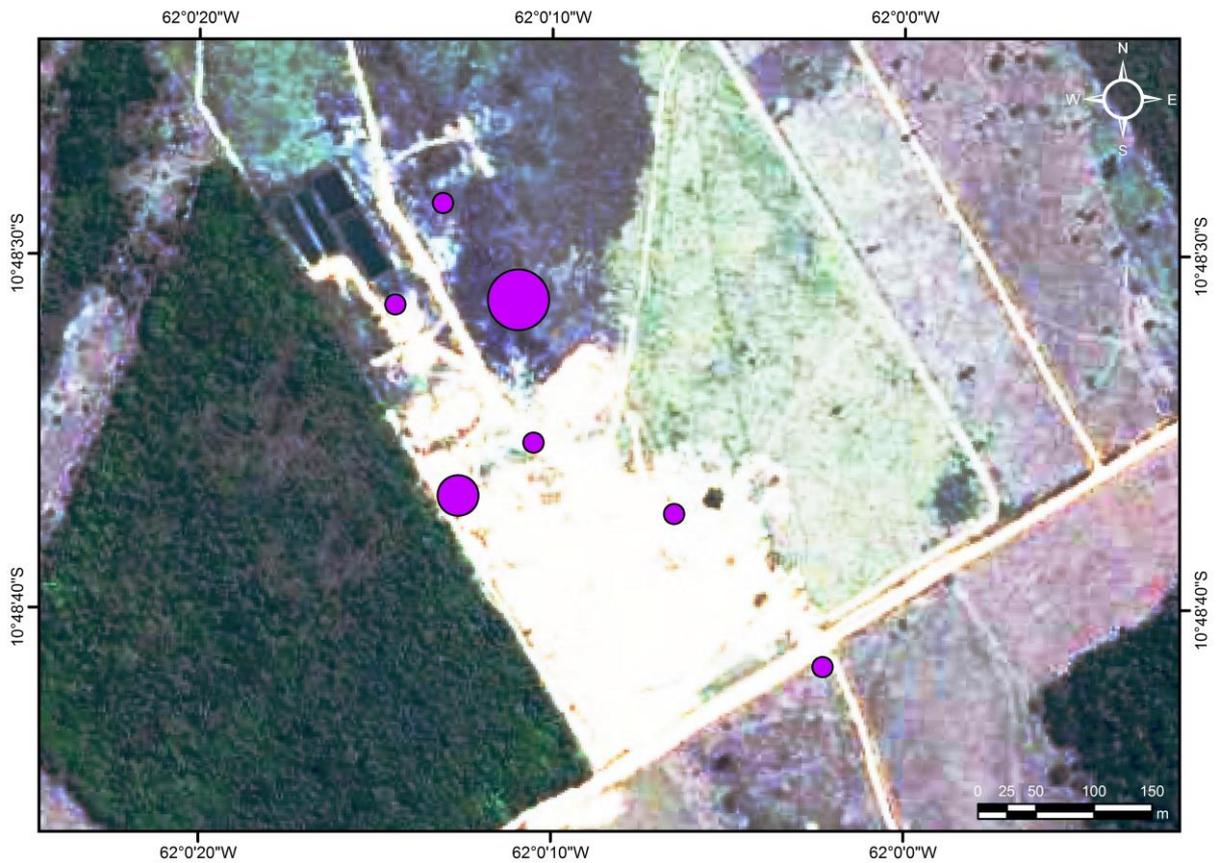
- 4,96 - 5,79
- 5,80 - 7,51
- 7,52 - 421,64

Valor de Referência – CETESB (2005) ▬



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

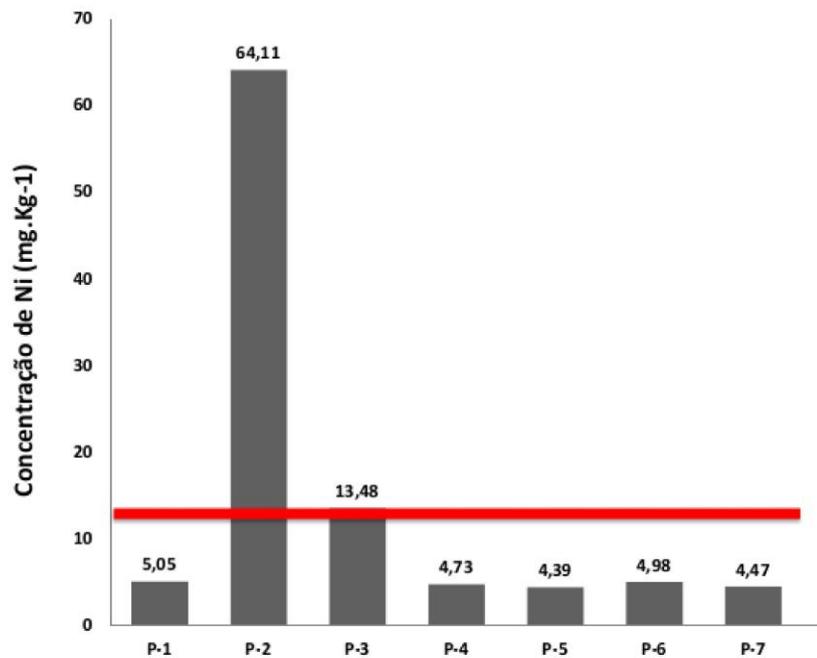
**Figura 12.** Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas na lixeira controlada ativa no período de estiagem – junho/2011.



**Concentração de Chumbo (mg.Kg-1)**

- 4,57 - 7,14
- 7,14 - 25,67
- 25,67 - 111,52

Valor de Referência – CETESB (2005) —



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

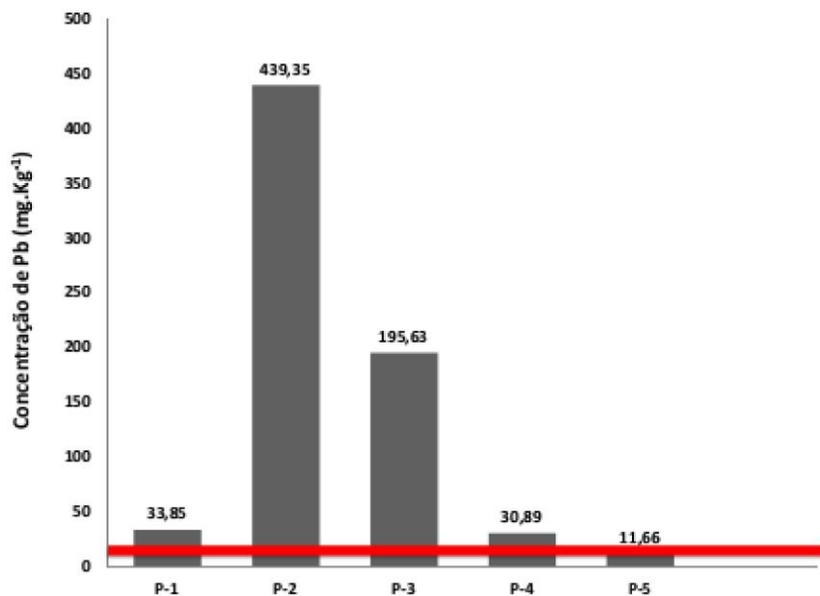
**Figura 13.** Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.



**Concentração de Chumbo (mg.Kg-1)**

- 11,66 - 33,84
- 33,85 - 195,63
- 195,64 - 439,35

Valor de Referência – CETESB (2005)



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

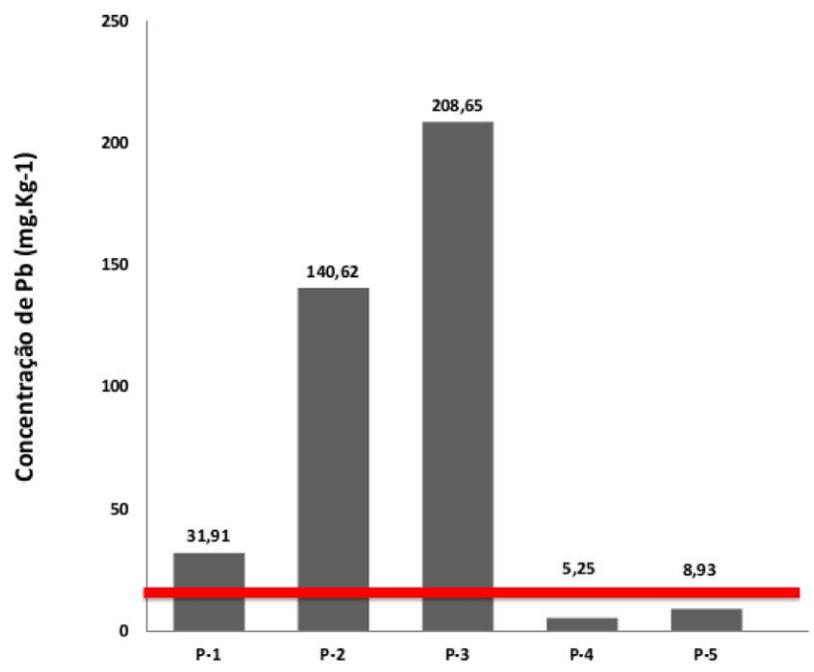
**Figura 14.** Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.



Concentração de Chumbo (mg.Kg-1)

- 5,25 - 8,93
- 8,94 - 31,91
- 31,92 - 208,65

Valor de Referência – CETESB (2005) —



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

**Figura 15.** Distribuição espacial das concentrações de chumbo encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.

Schoenhals et al. (2009), durante pesquisa sobre a remoção de chumbo dos efluentes

de uma indústria recicladora de baterias, citam que no processo industrial as baterias que chegam à indústria são abertas para separar a solução que contém chumbo da embalagem, de forma que o efluente deste processo necessita de tratamento por conter em sua composição o elemento químico Pb. Segundo os autores, esses efluentes são encaminhados a uma Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, para devida neutralização. O município de Ji-Paraná não dispõe de ETE doméstico ou industrial. Desta forma a maior parte dos efluentes domésticos, após serem coletados pelos caminhões limpa fossas são enviados às lagoas de tratamento de esgoto localizadas na lixeira controlada ativa. Parte do efluente industrial do município de Ji-Paraná, certamente tem o mesmo destino, conforme constatado através de contato com algumas dessas empresas (comunicação pessoal).

O ponto 5 da lixeira controlada ativa, na coleta realizada em junho, apresentou elevada concentração de Pb ( $421,63\text{mg.Kg}^{-1}$ ) estando acima do VP ( $72\text{ mg.Kg}^{-1}$ ) preconizado pela resolução 420/2009 do CONAMA e acima do VI para solo agrícola ( $180\text{ mg.Kg}^{-1}$ ) e residencial ( $300\text{mg.Kg}^{-1}$ ) preconizado pela resolução citada. Tal ponto está localizado ao lado do local de despejo de esgoto (figura 15), de forma que quando estes efluentes são provenientes de indústrias e empresas que trabalham com baterias e outros contaminantes automotores, o despejo pode contaminar o solo adjacente, além de outras áreas, já que as lagoas de tratamento não seguem os padrões adequados para a operação das mesmas.



**Figura 16.** Caracterização do ponto 5 localizado ao lado de lagoas de despejo de esgoto por empresas limpa fossas. **Fonte:** Fotopoulos (2011).

Yabe e Oliveira (1998), em sua pesquisa para quantificação das concentrações de metais pesados em águas superficiais com a finalidade de caracterização de bacias hidrográficas da cidade de Londrina-PR, encontraram próximo a fábrica de baterias concentrações de Pb em amostras de solo de  $288,0\text{mg.kg}^{-1}$  a montante do empreendimento,  $4.504,0\text{mg.kg}^{-1}$  na área da fábrica e  $509,9\text{mg.kg}^{-1}$  a jusante da mesma. Alloway (1993), relata que não é comum encontrar Pb nas formas solúvel e trocável nos solos e sedimentos, a não ser em caso de contaminação recente, pois o Pb após entrar em contato com os solos, leva em média de 24-48h para ser imobilizado fortemente pelos colóides do solo.

Essas constatações podem ser relevantes para os resultados encontrados no ponto 4 da lixeira controlada ativa que também apresentou alto índice de contaminação por Pb ( $421,64\text{mg.kg}^{-1}$ ). O ponto 4 localiza-se ao lado de uma célula ativa, com incidências de fogo, cinzas e descarregamento de resíduos da construção civil (FIGURA 17). Certamente que as concentrações de Pb detectadas neste ponto estejam correlacionadas à composição dos resíduos ali depositados.



**Figura 17.** Caracterização do ponto 4, localizado em área com indícios de fogo e despejo de construção civil. **Fonte:** organizadores (2011).

Segura-Muñoz (2002), ao realizar uma avaliação do impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos do município de Ribeirão Preto-SP, encontrou valor máximo para o elemento Pb de  $33,95\text{mg.kg}^{-1}$  para a matriz solo.

No presente trabalho, o valor máximo de Pb foi encontrado no lixão inativo ( $439,35$

mg.kg<sup>-1</sup>). Esse valor pode estar relacionado às pilhas e baterias ali já depositadas (ou outros resíduos que contenham Pb em sua constituição) as quais se encontram em processo de decomposição há aproximadamente 15 anos.

Sisinno e Moreira (1996) em avaliação da contaminação por metais pesados na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu (Niterói-RJ), encontraram para o elemento Pb, concentrações de 115,6mg.Kg<sup>-1</sup> (amostras de solos de área rural próxima), 107,5mg.Kg<sup>-1</sup> (para amostras de solo coletadas em ruas de loteamento residencial) e 142,0mg.Kg<sup>-1</sup> (o solo do aterro). Analisando de um forma geral os dados de Pb apresentados por Sisino e Moreira (1996), verifica-se que não houve grandes variações nas concentrações de Pb nos diferentes pontos amostrados. No entanto, no presente trabalho foi possível observar uma maior variabilidade dos dados (figuras 12 a 15).

Martins (2011), em seu trabalho de análise da qualidade da água subterrânea na área de influência do lixão inativo (Ji-Paraná) constatou que, na maioria das amostras coletadas no mês de maio (2011), detectou-se concentrações acima do permitido para chumbo em águas subterrâneas que é de 10µg.L (CONAMA 396/2008). As concentrações encontradas variaram de 9,28 a 12,69µg.L. Essa constatação de Martins(2011) pode ser um indício de contaminação das águas subterrâneas na região do entorno do lixão inativo o que pode estar sendo causada pela proximidade das residências que se utilizam de poços nesta esta área.

Apesar de não terem sido realizadas análises de Pb e dos demais metais estudados em amostras de perfil de solo (diferentes profundidades), é possível que camadas de solo mais profundas (maior que 30cm) possuam concentrações de metais ainda mais elevadas, devido maior proximidade destas camadas de solo com o lixo depositado. Bem como o maior contato destas com o chorume produzido nas camadas mais profundas, o qual entra em contato com as águas subterrâneas daquela área, como demonstrado no trabalho de Martins (2011).

Apesar de não ter sido possível realizar uma amostragem maior nas áreas estudadas, as concentrações de Pb obtidas neste trabalho, somada às informações contidas no trabalho de Martins (2011) verifica-se a importância da área compreendida pelo lixão inativo e seu entorno ser isolada para que se cumpra o seu PRAD idealizado em 2008. Entretanto essa não é a realidade do município visto que os moradores atualmente utilizam a área para a prática de esportes e lazer.

Essas práticas se tornam perigosas, pois na história tem-se diversos relatos de acidentes com Pb. Cita-se os níveis de chumbo encontrados em animais de propriedades vizinhas à indústria Tonolli S/A em Jacareí – SP (Kuno et al., 1995). A atividade desta

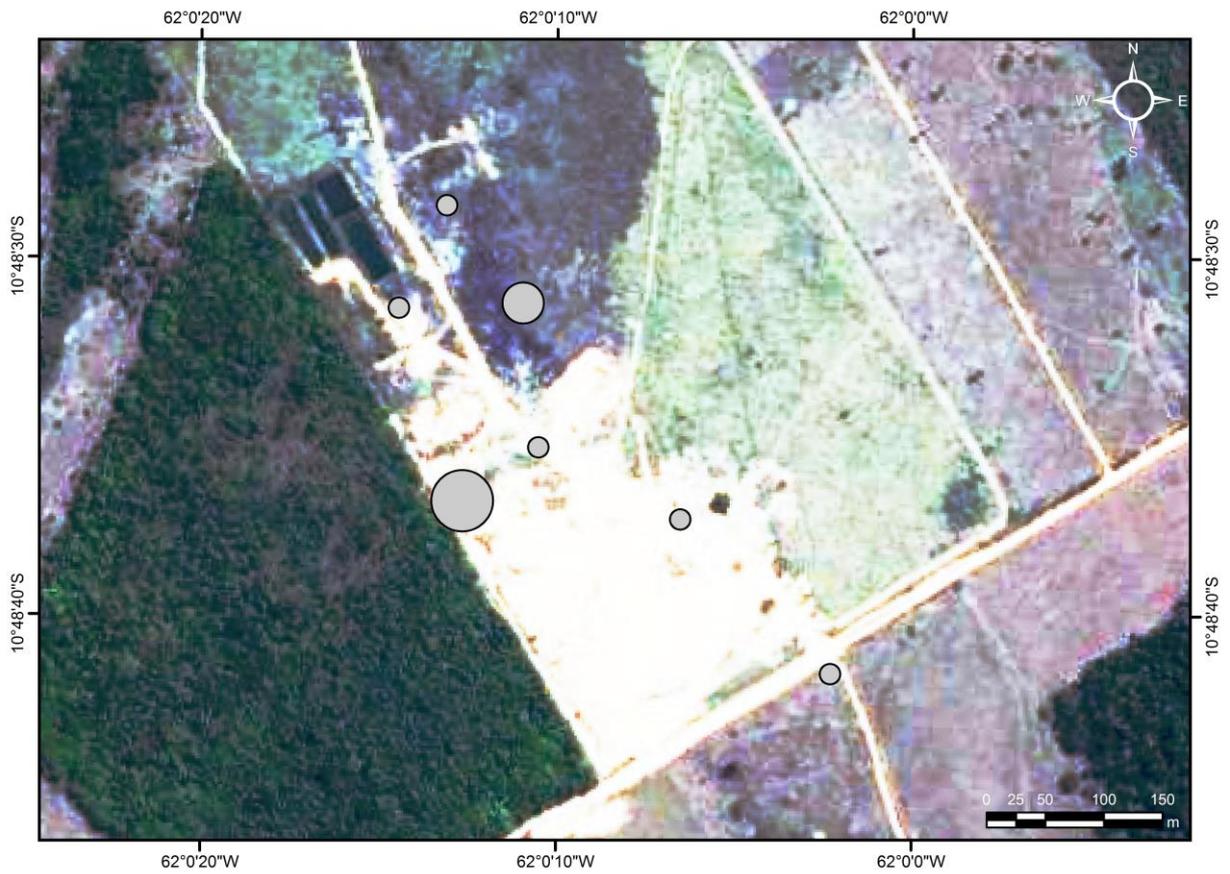
indústria estava relacionada com recuperação de sucata de Pb para produção de ligas e lingotes. Estudos detectaram concentrações elevadas de Pb em amostras de sangue de animais em propriedades vizinhas a indústria.

Também vale ressaltar a exposição humana à contaminação por Pb e arsênio no vale do Ribeira, SP-PR. Após longos anos de mineração de chumbo, zinco, prata e arsênio na região, ocorreu o esgotamento das minas e consequente fechamento das empresas mineradoras, deixando para trás um grande passivo ambiental, gerado pelos depósitos de rejeitos minerais com alta concentração de Pb e Arsênio ao redor da antiga empresa. Como resultado constatou-se alto nível de contaminação no solo e água da região. Também foi detectada contaminação na população vizinha a área. (PANTAROTO, 2009)

### **3.2.3. Níquel (Ni)**

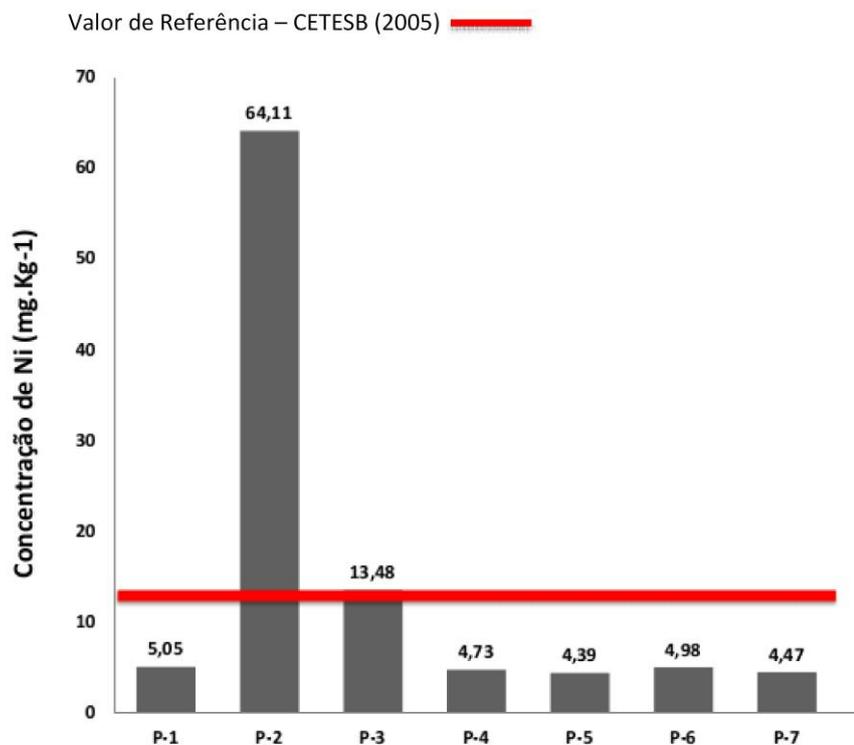
Quanto às concentrações de Ni nas amostras de solo analisadas, observou-se que na lixeira controlada ativa, no período de estiagem, as concentrações registradas em todos os pontos estiveram abaixo do VRQ preconizado pela CETESB (2005), que é de  $13\text{mg.kg}^{-1}$ . No período chuvoso (figura 18), pode-se observar concentrações de Ni maiores que o VRQ estabelecido pela CETESB (2005) nos pontos 2 ( $64,11\text{mg.kg}^{-1}$ ) e 3 ( $13,48\text{mg.kg}^{-1}$ ). O ponto 2 apresentou concentração maior que o VP preconizado pela resolução nº 420/2009 do CONAMA, que é de  $30\text{mg.kg}^{-1}$ .

No lixão inativo, período de estiagem (figura 19), os pontos 2 ( $21,97\text{mg.kg}^{-1}$ ), 3 ( $20,99\text{mg.kg}^{-1}$ ) e 4 ( $20,35\text{mg.kg}^{-1}$ ) apresentaram concentrações mais elevadas que o VRQ ( $13\text{mg.kg}^{-1}$ ). No período chuvoso (figura 20), os pontos que ultrapassaram o VRQ foram os pontos 2 ( $27,17\text{mg.kg}^{-1}$ ), 3 ( $26,27\text{mg.kg}^{-1}$ ), 4 ( $13,48\text{mg.kg}^{-1}$ ) e 5 ( $51,16\text{mg.kg}^{-1}$ ).



**Concentração de Níquel (mg.kg-1)**

- 4,39 - 5,05
- 5,06 - 13,48
- 13,49 - 64,11



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

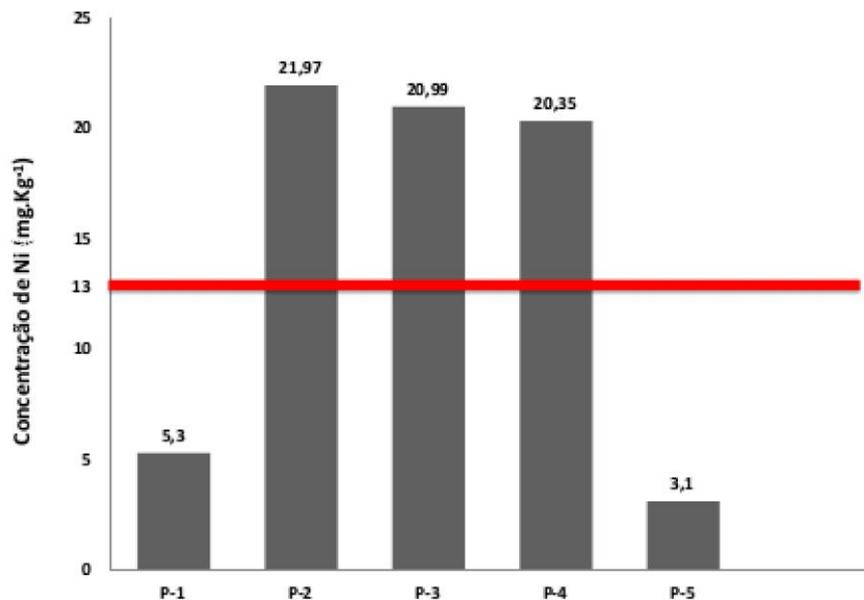
**Figura 18.** Distribuição espacial das concentrações de níquel encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.



**Concentração de Níquel (mg.Kg-1)**

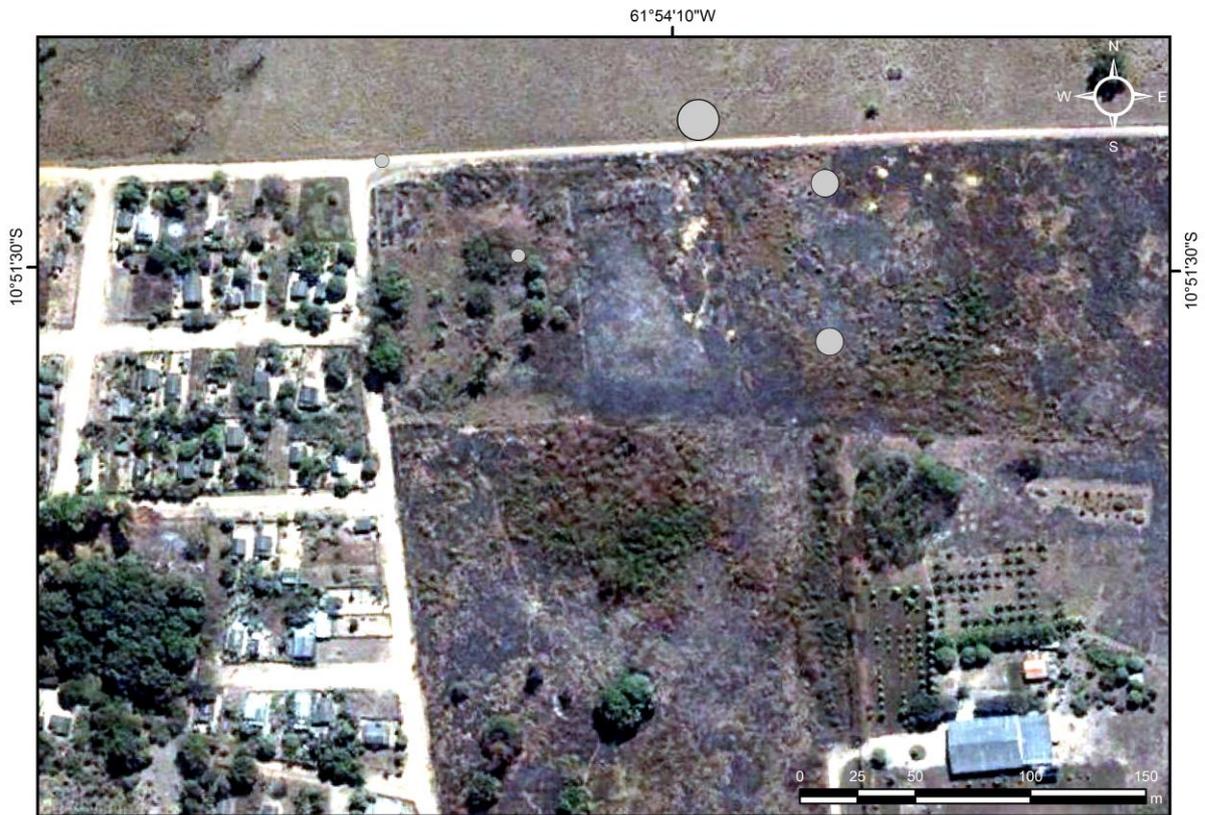
- 8,32 - 13,48
- 13,49 - 27,17
- 27,18 - 51,16

Valor de Referência – CETESB (2005) ▬



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

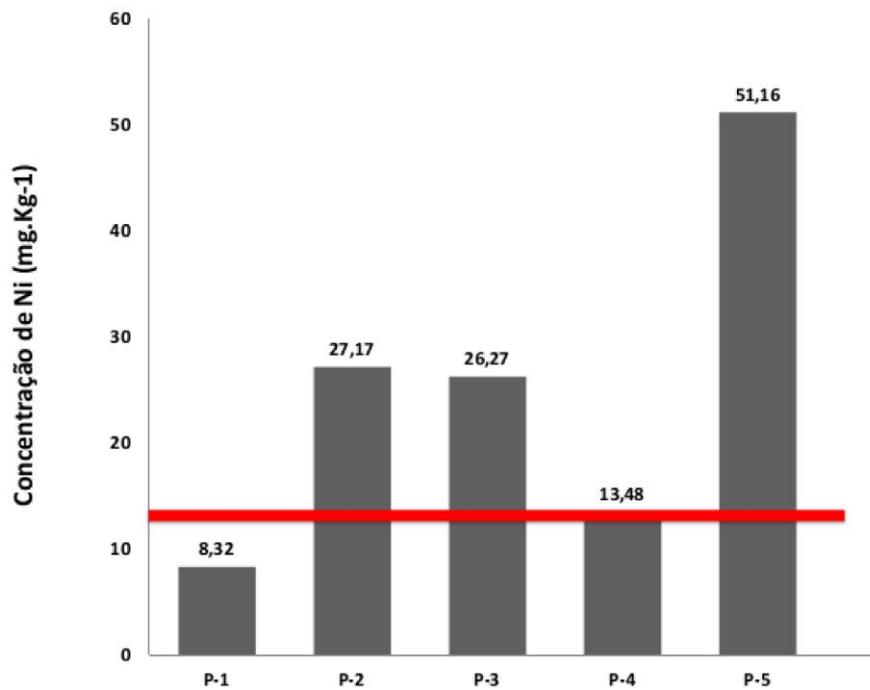
**Figura 19.** Distribuição espacial das concentrações de níquel encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.



**Concentração de Ni (mg.Kg-1)**

- 8,32 - 13,48
- 13,49 - 27,17
- 27,18 - 51,16

Valor de Referência – CETESB (2005) —



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

**Figura 20.** Distribuição espacial das concentrações de níquel encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.

As concentrações de Ni encontradas nas amostras de solo do lixão inativo, em quase todos os pontos estudados, excederam o VQR estipulado pela CETESB, (2005), demonstrando uma tendência no aumento das concentrações no período de maior precipitação, entretanto não houve diferença estatística ( $p > 0,05$ ) para este elemento entre os períodos estudados.

Como possíveis fontes antrópicas de níquel estão as indústrias de aço inoxidável, galvanoplastias, fabricação de margarinas e manteigas (catalisador dos processos de hidrogenação), niquelagem, entre outras. A contaminação dos solos se dá pela disposição inadequada de lodo e resíduos em geral contaminados. No entanto, o níquel pode ocorrer naturalmente através da degradação das rochas (QUINÁGLIA, 2012).

No lixão inativo quase todos os pontos (exceto P1 e P5/junho e P1/novembro) excederam o VRQ preconizado pela CETESB (2005), que corresponde a  $13 \text{mg.Kg}^{-1}$ . Martins (2011), encontrou na área de influência do lixão inativo, para o elemento Ni, valores abaixo do recomendado pela resolução 396/2008 do CONAMA ( $20 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), estando entre  $2,41 \mu\text{g.L}^{-1}$  e  $6,92 \mu\text{g.L}^{-1}$ , sendo esta a maior concentração de Ni detectada dentre os poços analisados.

É válido ressaltar que o ponto 5 (ponto controle) do lixão inativo apresentou concentração de Ni maior que o VP preconizado pela resolução 420/2009 do CONAMA que é de  $30 \text{mg.kg}^{-1}$ . De acordo com Gonçalves (2009) os teores naturais de níquel no solo não oferecem riscos ao meio ambiente e a saúde pública. Entretanto tem se observado um aumento nas concentrações de Ni devido a adições de agrotóxicos, de lodos de estação de tratamento, de fertilizantes, entre outros. Como o ponto 5 está localizado em uma área de pastagem, uma hipótese para a concentração de Ni ali encontrada ( $30,89 \text{mg.kg}^{-1}$ ) seria decorrente da aplicação de herbicidas, agrotóxicos ou fertilizantes na área.

O níquel, segundo a CETESB (2001) também tem como principais fontes antrópicas a queima de combustíveis fósseis, processos de mineração e fundição dos metais, fusão e modelagem de ligas e indústrias de eletrodeposição.

No ponto 2 da lixeira controlada ativa também foi encontrada uma alta concentração de Ni ( $64,11 \text{mg.kg}^{-1}$ ), concentração esta superior ao VP ( $30 \text{mg.kg}^{-1}$ ) e ao VI ( $70 \text{mg.kg}^{-1}$ ) para solo agrícola estipulado pela resolução 420/2009 do CONAMA. O ponto 2 localiza-se próximo (aproximadamente 20m) de uma célula para deposição de resíduos do serviço de saúde (figura 21), onde visualmente não foi verificado nenhum material que pudesse conter Ni, no entanto, através da ação dos ventos, partículas de solo adsorvidas ao Ni decorrentes de

outras áreas da lixeira controlada ativa, podem ter contribuído para os valores de Ni encontrados neste ponto.



**Figura 21.** Vala de deposição dos resíduos sólidos dos serviços de saúde. **Fonte:** organizadores (2011)

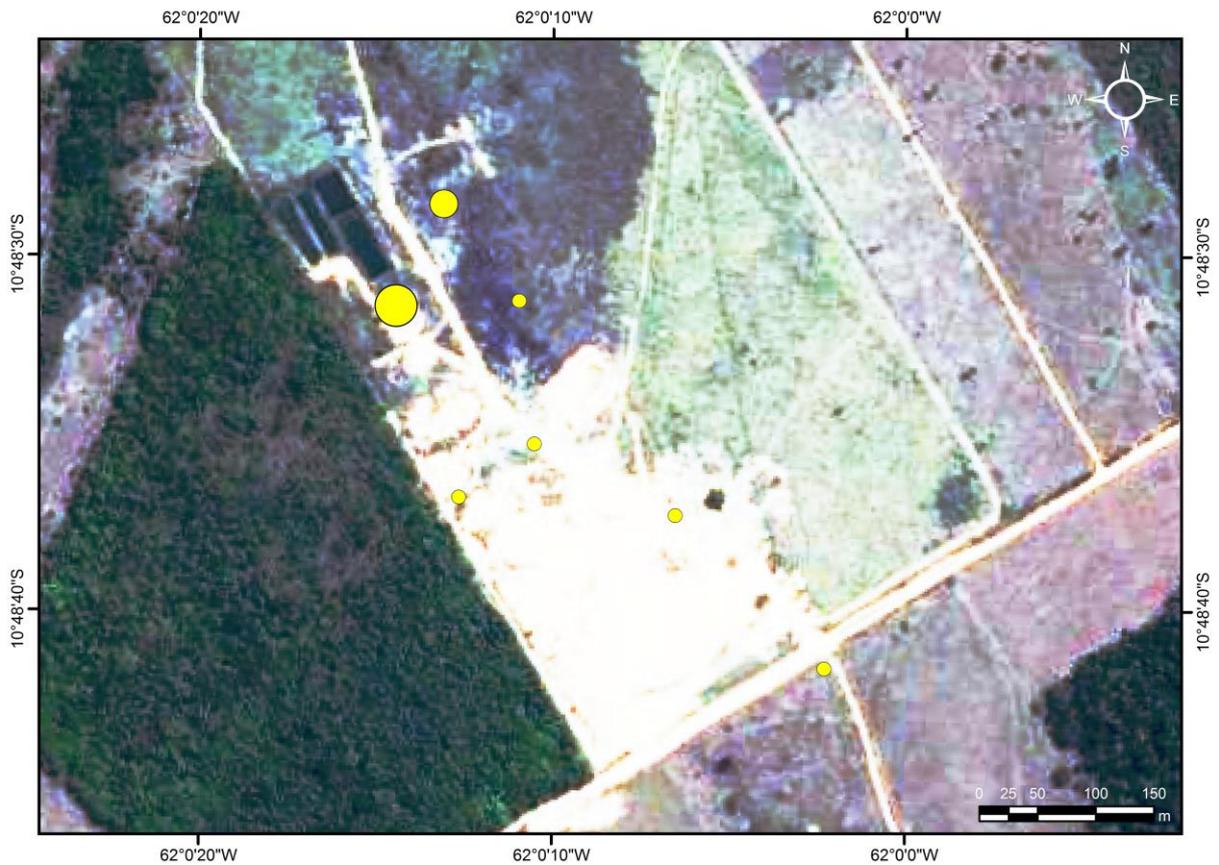
#### 3.2.4. Zinco (Zn)

Quanto as concentrações de Zn na lixeira controlada ativa, no período de estiagem (FIGURA 23), os pontos 4 e 5 apresentaram concentrações ( $85,96\text{mg.kg}^{-1}$  e  $147,92\text{mg.kg}^{-1}$ , respectivamente) maiores que o VRQ estipulado pela CETESB (2005) que é de  $60\text{mg.kg}^{-1}$ . Já no período chuvoso (FIGURA 24), os pontos 2 ( $159,53\text{mg.kg}^{-1}$ ) e 3 ( $474,48\text{ mg.kg}^{-1}$ ) ultrapassaram o VRQ estabelecido. Ressalta-se ainda que o ponto 3 (FIGURA 22) também ultrapassou o VP ( $300\text{mg.kg}^{-1}$ ) e o VI para solo agrícola ( $450\text{mg.kg}^{-1}$ ) estabelecido pela resolução nº 420/2009 do CONAMA.



**Figura 22.** Ponto 3 caracterizado pela célula de deposição ativa. **Fonte:** organizadores (2011)

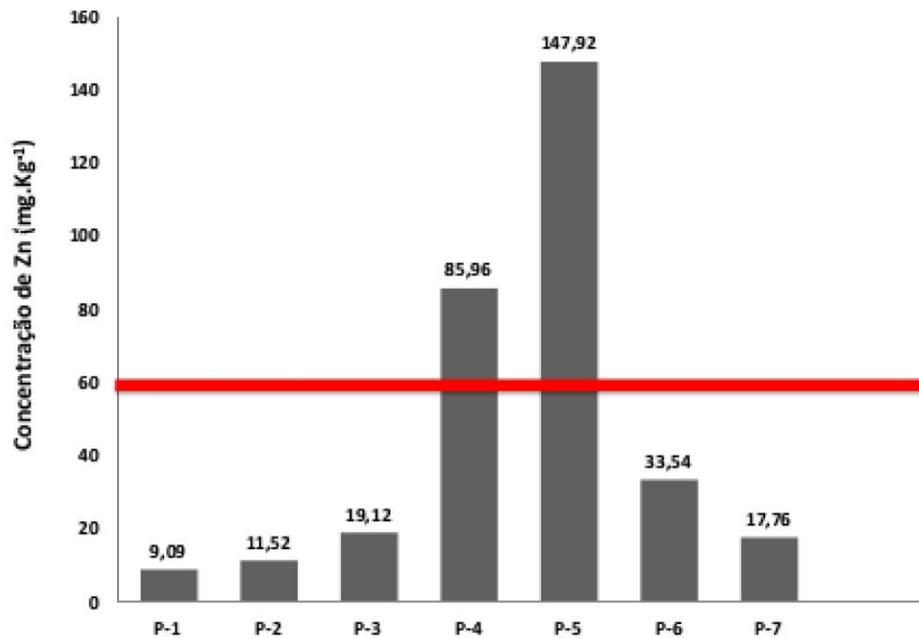
No lixão inativo, no período de estiagem (FIGURA 25), com exceção apenas para ponto controle (ponto 5), localizado na fazenda aos fundos do lixão inativo, todos os demais pontos apresentaram concentrações de Zn maiores que o VRQ estabelecido pela CETESB (2005). Foram obtidos os seguintes valores: ponto 1 com  $121,63\text{mg.kg}^{-1}$  e ponto 2 com  $2.367,57\text{mg.kg}^{-1}$ , ambos com valores abaixo do VP estabelecido pela resolução 420/2009 do CONAMA que é de  $300\text{mg.kg}^{-1}$ , ponto 3 com  $1.007,26\text{mg.kg}^{-1}$  e ponto 4 com  $138,18\text{mg.kg}^{-1}$ . Já no período chuvoso (FIGURA 26), com exceção dos pontos 4 ( $12,5\text{mg.kg}^{-1}$ ) e 5 ( $58,59\text{mg.kg}^{-1}$ ) os demais pontos, 1 ( $125,96\text{mg.kg}^{-1}$ ), 2 ( $798,7\text{mg.kg}^{-1}$ ) e 3 ( $734,47\text{mg.kg}^{-1}$ ) apresentaram concentrações maiores que o VRQ ( $60\text{mg.kg}^{-1}$ ) preconizado pela CETESB (2005). Os pontos 2 e 3 do lixão inativo ainda excederam o VP estabelecido pela resolução 420/2009 do CONAMA, que é de  $300\text{mg.kg}^{-1}$ , e o VI para solo de área agrícola, que é de  $450\text{mg.kg}^{-1}$ .



### Concentração de Zinco (mg.kg<sup>-1</sup>)

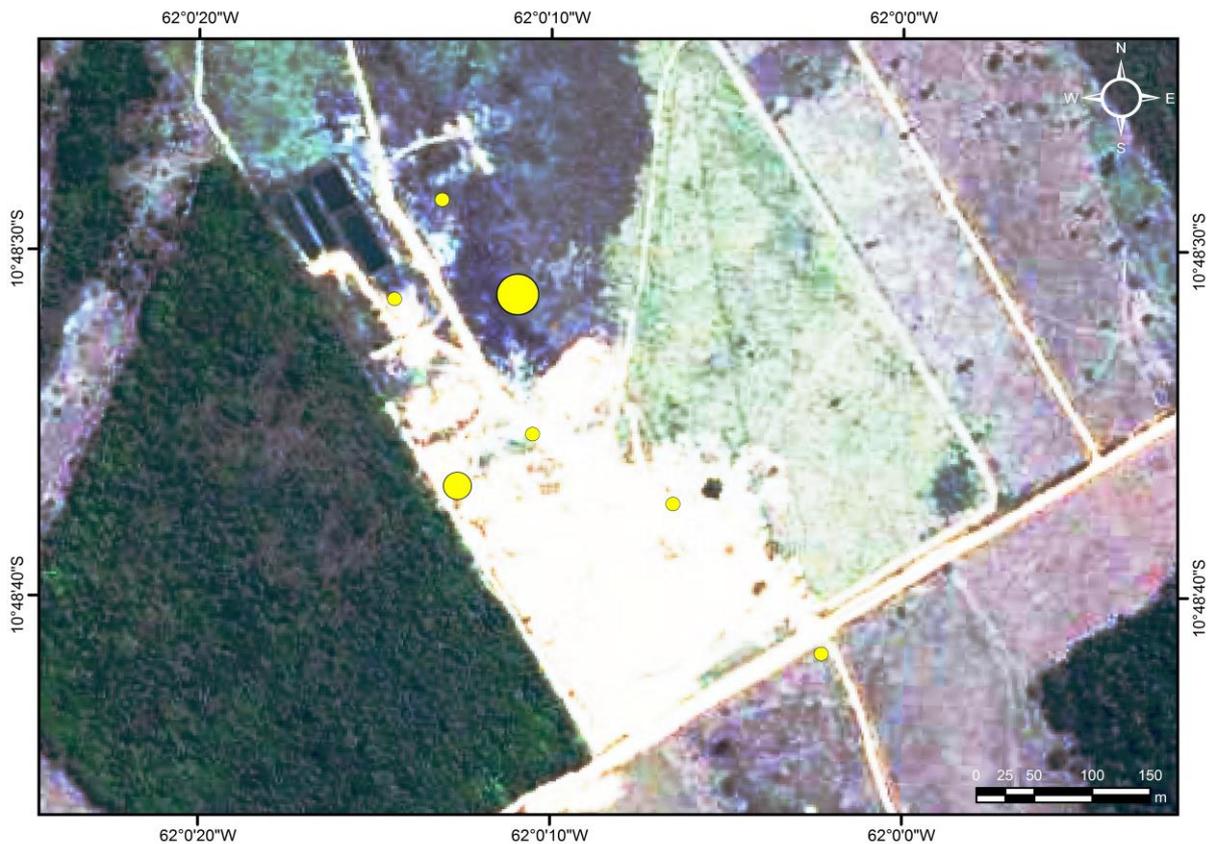
- 9,09 - 33,54
- 33,55 - 85,95
- 85,96 - 147,92

Valor de Referência – CETESB (2005) ▬



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

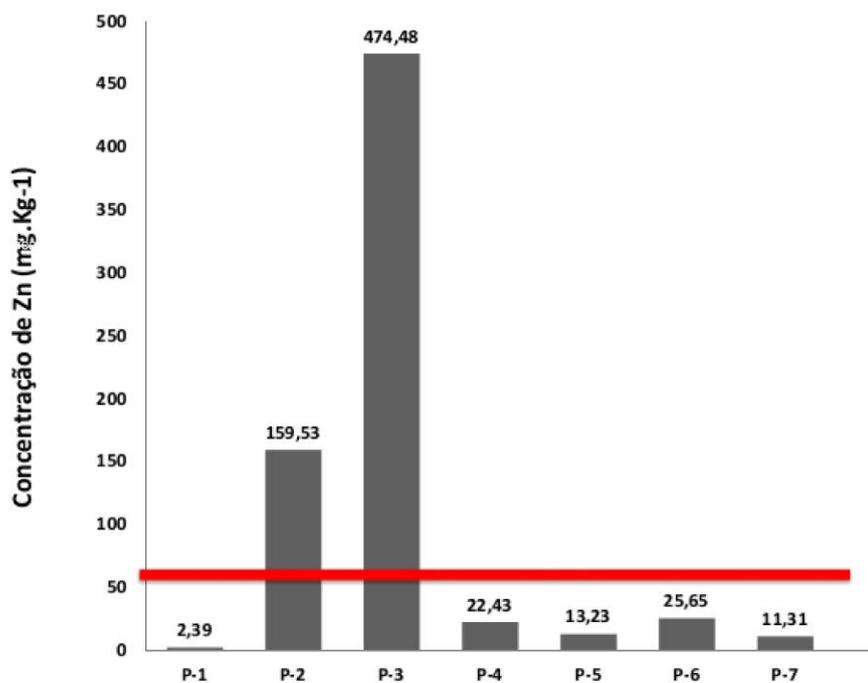
**Figura 23.** Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas na lixeira controlada ativa no período de estiagem – junho/2011.



**Concentração de Zinco (mg.Kg-1)**

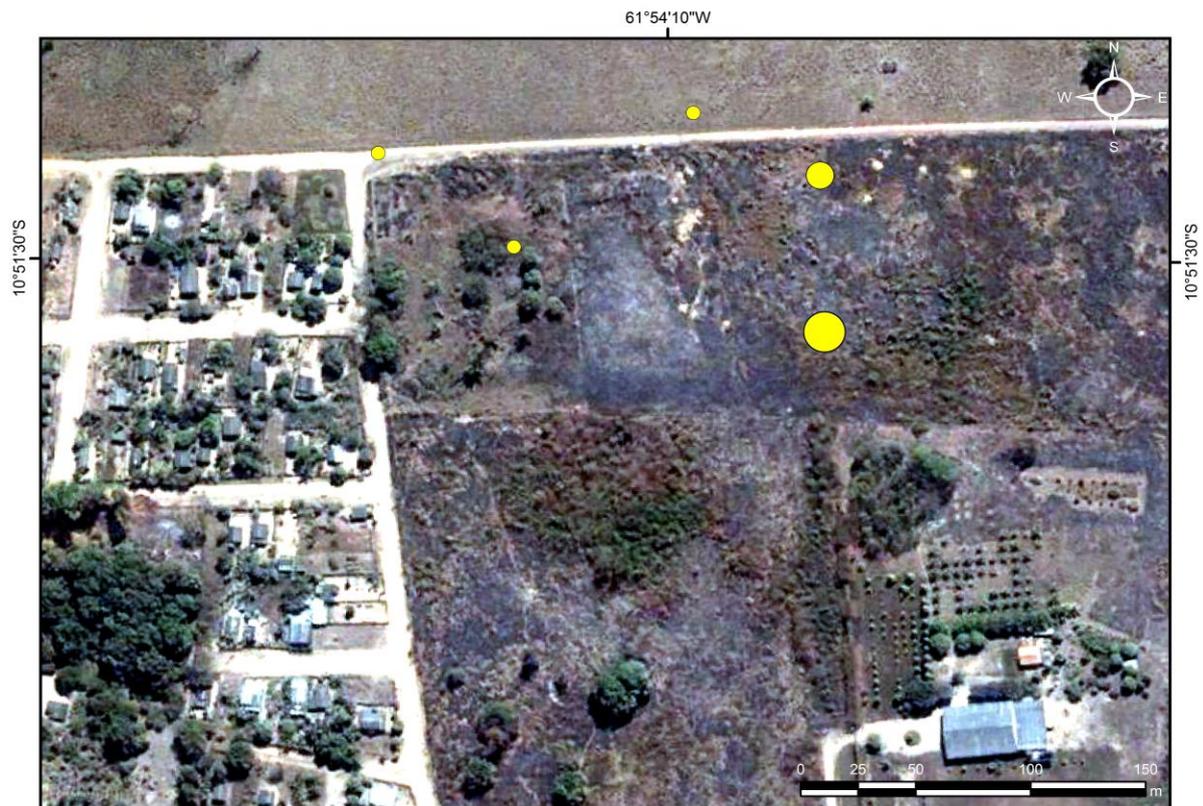
- 2,39 - 25,65
- 25,66 - 159,52
- 159,53 - 474,48

Valor de Referência – CETESB (2005) ▬



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

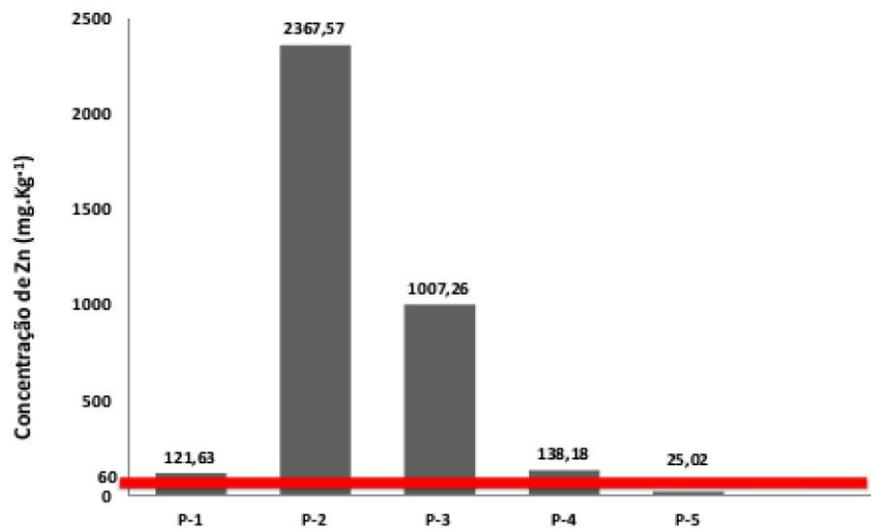
**Figura 24.** Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas na lixeira controlada ativa no período chuvoso – novembro/2011.



**Concentração de Zinco (mg.kg<sup>-1</sup>)**

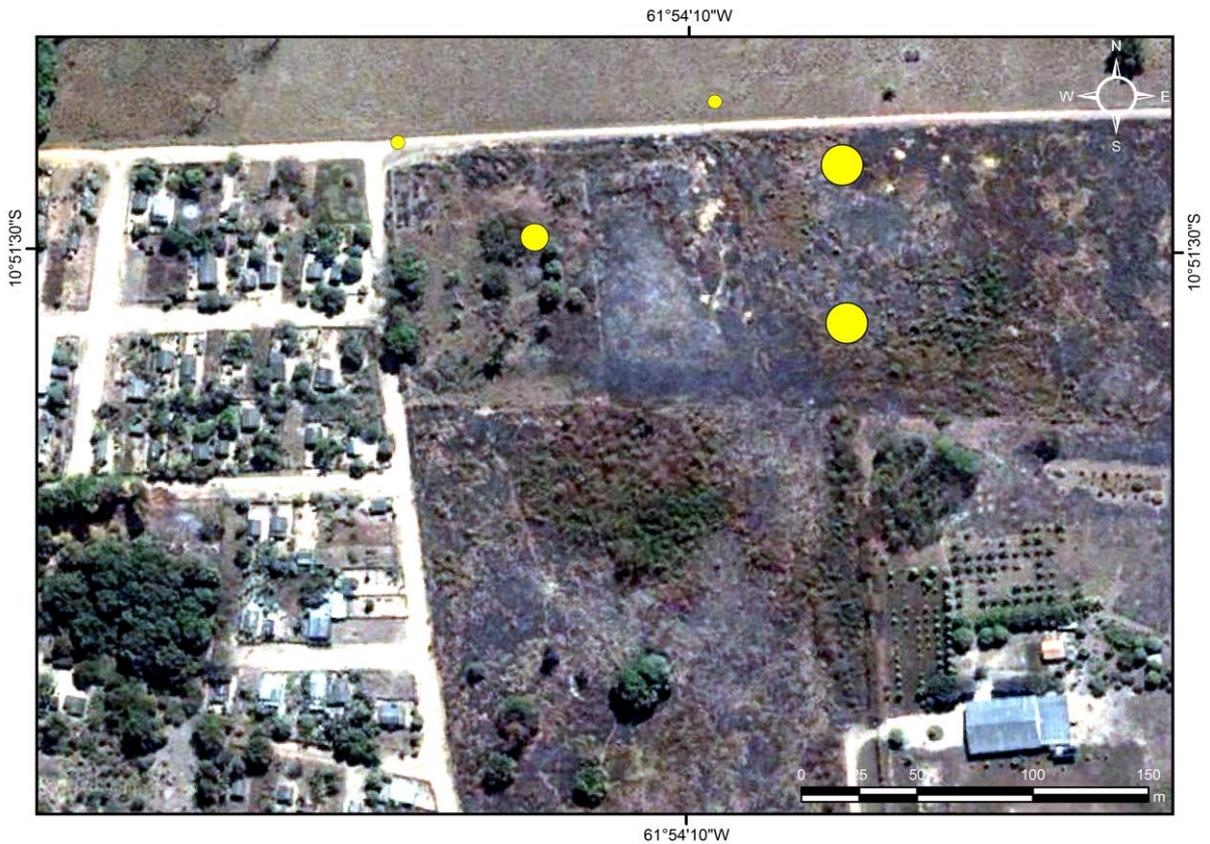
- 25,02 - 138,17
- 138,18 - 1005,26
- 1005,26 - 2367,57

Valor de Referência – CETESB (2005)



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

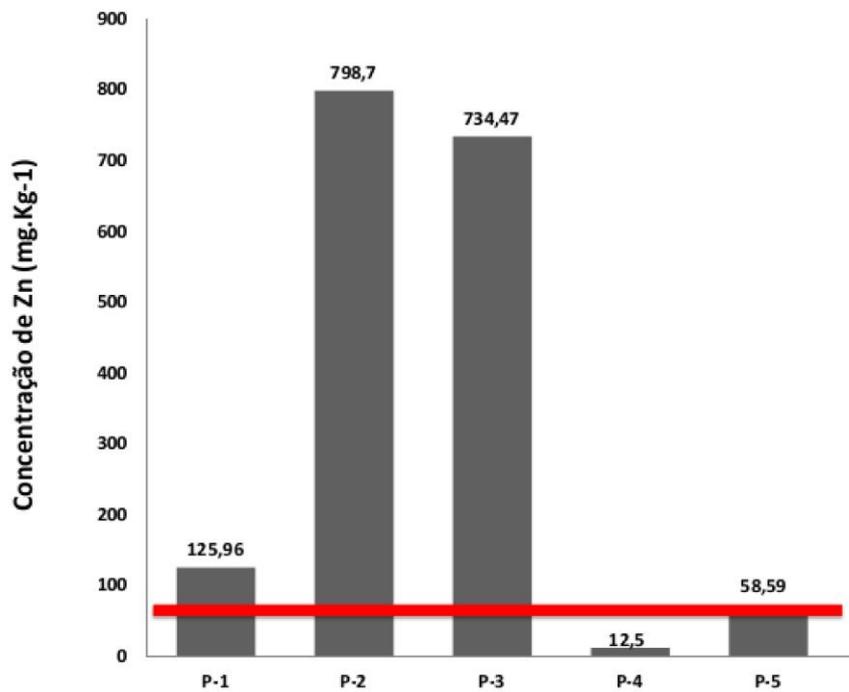
**Figura 25.** Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas no lixão inativo no período de estiagem – junho/2011.



**Concentração de Zinco (mg.Kg-1)**

- 12,50 - 58,59
- 58,60 - 125,9
- 125,96 - 798,

Valor de Referência – CETESB (2005) ▬



Fonte: Mapa elaborado a partir de limites municipais e estaduais do IBGE, 2007.

**Figura 26.** Distribuição espacial das concentrações de zinco encontradas no lixão inativo no período chuvoso – novembro/2011.

O zinco possui origem antrópica no meio ambiente através da combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos. Dessa forma suas concentrações encontradas no solo e nas fontes de água subterrânea podem ser oriundas da disposição inadequada de resíduos sólidos no solo (PHILIPPI JR, et al., 2004). Todos esses materiais, que acabam sendo depositados nas áreas de deposição de lixo, podem acarretar contaminações pelos metais pesados contidos em sua estrutura.

Santos (2006), em sua pesquisa de quantificação das concentrações de metais pesados em amostras de solo na área do lixão de Porto Velho-RO, encontrou maiores valores de Zn no período chuvoso ( $1.736,80 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) do que no período de estiagem ( $1.606,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). No presente trabalho, as maiores concentrações de Zn foram encontradas no lixão inativo, tanto no período de estiagem (ponto 2), com  $2367,57 \text{ mg.kg}^{-1}$  e novamente o ponto 2, no período chuvoso com  $798,70 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Este ponto caracteriza-se por estar próximo (aproximadamente 20m) da célula de deposição dos resíduos do serviço de saúde e, no ponto coletado, não havia a presença de resíduos aparentes, ou seja, era constituído apenas de solo utilizado para cobrir as células depois de despejado os resíduos.

Sisinno e Moreira (1996) em avaliação da contaminação ambiental por metais pesados na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu (Niterói-RJ) encontrou concentração máxima para Zn de  $270,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ . No presente estudo foram encontradas concentrações maiores, com máxima de  $2.367,57 \text{ mg.kg}^{-1}$  (P2/lixão inativo/novembro).

### **3.3. CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS QUE SE ENCONTRARAM ABAIXO DOS VALORES ORIENTADORES (VRQ, VP E VI) OU QUE APRESENTARAM CONCENTRAÇÕES ACIMA DOS VALORES ORIENTADORES EM PONTOS ISOLADOS.**

Outros metais puderam ser quantificados acima dos VRQs estabelecidos pela CETESB (2005) nas áreas de deposição de resíduos do município de Ji-Paraná, mas não foi possível estabelecer relações de comparação sazonal entre esses resultados, pois ocorreram isoladamente. São eles o cobalto (Co), cujo VQR é de  $13 \text{ mg.kg}^{-1}$ , e no ponto 3 do lixão inativo (período chuvoso), apresentou concentração de  $23,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; o cromo (Cr) que excedeu o VRQ de  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ , no ponto 3 ( $77,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) da lixeira controlada ativa (período chuvoso) e o ponto 3 do lixão inativo com  $61,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Deste modo, através desta pesquisa foi possível observar que alguns dos elementos analisados encontraram-se acima dos valores orientadores preconizados pela CETESB (2005) e pela resolução 420/2009 do CONAMA. Tais resultados certamente estão diretamente relacionados à constituição química dos resíduos depositados no lixão inativo e na lixeira controlada ativa. Provavelmente o fato de as maiores concentrações de metais pesados terem sido encontradas no lixão inativo, está relacionado ao maior tempo de decomposição (aproximadamente 15 anos) que os resíduos estão submetidos, sendo portanto liberados a diferentes compartimentos ambientais, como o solo (apresentado pelo presente estudo) e água subterrânea, como consta no trabalho de Martins, (2011) o qual também foi desenvolvido próximo à área do lixão inativo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do presente estudo foi possível constatar a presença dos metais pesados Co, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu, Fe e Zn nas amostras de solo da lixeira controlada ativa e do lixão inativo do município de Ji-Paraná. Através da análise estatística verificou-se que apenas as concentrações médias dos elementos Fe (lixeira controlada ativa) e Mn (lixão inativo) apresentaram diferença significativa entre o período de estiagem (junho/2011) e chuvoso (novembro/2011).

Ao comparar os resultados obtidos com os valores de referência de qualidade (VRQ) estipulados pela decisão de diretoria n° 195 da CETESB (2005) e com os valores de prevenção (VP) e intervenção (VI) preconizados pela resolução 420/2009 do CONAMA, os elementos Cu, Pb, Ni e Zn, apresentaram concentrações acima dos valores orientadores citados, em um número maior de amostras, em ambas as áreas de estudo. Foi possível verificar que os elementos Pb e Zn apresentaram concentrações acima dos valores de investigação. O Pb apresentou concentração maior que o VI para solo de área agrícola ( $180\text{mg.Kg}^{-1}$ ) no lixão inativo e maior que VI para solo de área residencial ( $300\text{mg.Kg}^{-1}$ ) na lixeira controlada ativa. A lixeira controlada ativa apresentou concentração de Zn maior que o VI para solo de área agrícola ( $450\text{mg.Kg}^{-1}$ ), bem como amostras de solo contendo concentrações de Zn maiores que o VI para solo de área residencial ( $1000\text{mg.Kg}^{-1}$ ) e área industrial ( $2000\text{mg.Kg}^{-1}$ ).

Baseando-se nesta constatação e na resolução 420/2009 do CONAMA, capítulo II, artigo 13° que trata sobre as classes de qualidade dos solos segundo a concentração de substâncias químicas, foi possível classificar os solos da lixeira controlada ativa e do lixão inativo, como solos de Classe 4, que correspondem àqueles que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI. Segundo o capítulo IV (art. 21° ao 38°) da referida resolução, solos de classe 4 requerem diversas ações, destacam-se a eliminação do perigo e redução do risco à saúde humana e ao meio ambiente, bem como cabe ao órgão

ambiental competente instituir ações de investigação e gestão da área.

O presente trabalho trouxe informações que certamente contribuirão para o melhor manejo e gestão das áreas pelos órgãos competentes do município de Ji-Paraná, no intuito de preservar a qualidade ambiental e a saúde das populações residentes próximas às áreas da lixeira controlada ativa e do lixão inativo, como visto na discussão dos resultados melhoras em áreas que adotaram a coleta seletiva e a adequação das áreas irregulares.

Por fim, recomenda-se para estudos futuros, um levantamento de dados que englobe uma área maior, tanto da lixeira controlada ativa como do lixão inativo, no intuito de aplicar testes estatísticos mais robustos a fim de contribuir para uma melhor avaliação da presença de metais pesados nas áreas estudadas.

## REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 339p. New York: Wiley, 1990.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 368 p. New York: Wiley, 1995.
- ALVES, A. N. L.; ROSA, H. V. D. **Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas. São Paulo-SP. 2003.
- ANDRIGUETTO, J. M. **Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal**. São Paulo. Ed Nobel. 4º Ed. v.1. 1981. 394 p.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – **RDC nº 33**, de 25 de maio de 2003.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – **RDC nº 306**, de 7 de dezembro de 2004.
- APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C. 873 pg. America Public Health Association, 1971.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological profile for lead**. Atlanta, GA, 2005. <<http://www.atsdr.cdc.gov>>. Acesso em: 05/10/2012
- AZEVEDO, F. A; CHASIN, A A M. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. Editora Atheneu. São Paulo, SP. 2003.
- BAIRD, C. **Química ambiental**. Ed. Bookman, 2. Ed. Porto Alegre, 2002.
- BANAS Qualidade. **Resíduos Sólidos: Como se classificam quanto ao seu potencial poluidor** – Revista nº 135 – Edição agosto de 2003. Mensal.

BISINOTI, M. C. **Produção de Hg orgânico em sedimentos tropicais a partir do Hg<sup>0</sup> experimentos em microcosmos.** UNICAMP/Instituto de química, 133 p. Dissertação de mestrado, Campinas, 2002.

BLAUROCK-BUSCH, E.; GRIFFIN, V. **Mineral and Trace Element Analysis: Laboratory and Clinical Application.** TMI/MTM Books, 1996.

CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. S.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. **Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, RJ. Abr., 2007.

CETESB. Companhia de tecnologia e saneamento ambiental. **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, SP.

CONAMA. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. 2002. **Resolução nº 313.** Disponível em:< [www.mma.conama.gov.br/conama](http://www.mma.conama.gov.br/conama)> Acesso em 26/01/2013.

CERCASOV, V.; PANTELICA, A.; SĂLĂGEAN, M.; SCHREIBER, H. **Comparative evaluation of some pollutants in the airborne particulate matter in Eastern and Western Europe: two-city study, Bucharest–Stuttgart.** Environ, Poll, v.101,1998.

CHARNOCK, D.; WELLS, C. **The challenge of waste disposal.** Journal of the Royal Society of Health, v.105, n.5, p.171-178, 1985.

EMSLEY, J. **Moléculas em exposição: o fantástico mundo das substâncias e dos materiais que fazem parte de nosso dia a dia.** São Paulo-SP, 2001.

FADIGAS, F.S., SOBRINHO, N.M.B.A, ANJOS, N.M.L.H.C, 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.

FERNANDEZ, L. L. F.; TIEPPO, L. H.; BARBOSA, M. V.; SCHRODER, N. Ferro e Neurodegeneração. Scientia Medica, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 218-224, out./dez. 2007.

FERREIRA, D. S.; SILVA, T. D. S.; ARAÚJO, M. I.; PADIM, D. F.; RIBEIRO, B.; EPOGLOU, A. **Resíduos sólidos: conscientização e coleta de pilhas e baterias na região de Ituiutaba - MG.** In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM, São Carlos-SP, 2009.

FILHO, F. B. E.; REIS, E. L. R.; JORDÃO, C. P. J.; NETO, J. T. P. **Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano domiciliar.** Revista Química Nova. Vol.22 (3) p.324-328. São Paulo Mai/Jun. 1999.

FORTUNATO, J. M. **Comportamento dos íons chumbo, cobre, níquel e zinco em área de manguezal associado a antigo lixão no município de Santos – SP.** Dissertação. IGc/USP. São Paulo, 2009.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** 3 ed. Rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

GNIPPER, S. F. **Durabilidade de encanamentos de edifícios e instalações hidráulicas.** Artigo. Fórum da Construção, São Paulo, 2013.

GOMES, J.P.O. **Elementos-traço em solos do Alto rio Madeira, Rondônia.** Dissertação. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR. Porto Velho, 2009.

GONÇALVES, V. C. Cádmio, Chumbo e Níquel: Teores em Fertilizantes Fosfatados e Fracionamento e Sorção em Solos do Rio Grande do Sul. Tese. Programa de Pós graduação em Ciência do Solo. Porto Alegre-RS, agosto, 2009.

HOFFBRAND, A. V.; PETTIT, J. E.; MOSS, P. A. H.; **Essential hematology.** 4<sup>th</sup>ed. Philadelphia: Blackwell Science; 2001.

HUEBERS, H.A. Iron. In: MERIANE. **Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance.** Weinheim: VCH, cap. II, 1991.

HYPOLITO, R.; EZAKI, S. **Íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo-SP.** Disponível em: <<http://en.scientificcommons.org>>. Acesso em: 19 nov. 2012.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

KRAEMER, M. E. P.; **A questão ambiental e os resíduos industriais.** São Paulo, 2005.

KROSCHWITZ, J. I. **Kirk Othmer encyclopedia of chemical technology.** 4 ed. Vol.14 New York 1995.

LEITE, C.M. B.; BERNARDES, R.S. B.; OLIVEIRA, S. A. de O. **Método Walkley-Black na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.111-115. Campina Grande, PB, 2004.

KUNO, R.; HUMAYTÁ, M. H. R.; OLIVEIRA FILHA, M. T. O. (1995) – Níveis de plumbemia de um grupo populacional e animais de propriedades vizinha à indústria Tonolli S/A, em Jacareí – SP. CETESB.

LIMA, I. V. Ferro. In: AZEVEDO, F. A. de; CHOSIN, A. A. da M. **Gerenciamento de toxicidade.** São Paulo: Atheneu, 2003.

LIMA, I. V; PEDROSO. M. F. M. **Ecotoxicologia do Ferro e seus compostos.** Cadernos de referência ambiental. Vol. 4.Salvador Ba. 2001.

MARTINS, I. A. V. **Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de influência do lixão inativo do bairro Boa Esperança (Ji-Paraná/RO).** Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná-RO, 2011.

MATTIAS, J. L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina.** Tese (Doutorado) - Programa de Pós-

Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, RS, Brasil. 2006.

MELLIS, E. V. **Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni e Zn em solo tratado com lodo de esgoto**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde**. Rev. Panam. Salud Publica. 2004.

MORITZ, J. M. **Current Legislation Governing Clinical Waste Disposal**. J. Hosp. Infect, v. 30, p. 521-30, 1995.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L. **Dessorção, Extração e Fracionamento de Manganês em Latossolos**. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa-MG, 2002

OLIVEIRA, F. J. S.; JUCÁ, J. F. T. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 9 - Nº 3 - jul/set 2004.

OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Três Marias, MG, 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS, 1998. **Elementos traço na nutrição e saúde humana**. Genebra, 1998.

PANTAROTO, H.L. **Chumbo: sua exploração, uso e saúde pública**. Belo Horizonte, MG, 2009.

PAYE, H. de S.; MELLO, J. W. V. de.; ABRAHÃO, W. A. P.; FILHO, E. I. F.; DIAS, L. C. P.; CASTRO, M. L. O.; MELO, S. B. de.; FRANÇA, M. M. **Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo**. Revista Brasileira Ciência Solo, vol.34 n.º6.Viçosa, MG. Nov./Dec. 2010.

PHILIPPI JR, A; ROMERIO, M. A; BRUNA, G. C. **Controle ambiental da água. In: curso de gestão ambiental – USP**. Ed. Manole Ltda. Barueri, SP, 2004.

PIZARRO, F.; OLIVARES, M.; GIDI, V.; ARAYA, M. **The gastrointestinal tract and acute effects of copper in drinking water and beverages**. Rev.. Environ Health, 14(4):231-8. 1999.

PLANO de **Gerenciamento Ambiental da Lixeira Controlada do Município de Ji-Paraná**. Prefeitura do Município de Ji-Paraná. Rondônia. Março de 2008.

PNSB, 2008. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2010.

PLANO de Recuperação de Áreas Degradadas – **Área Destinada ao Depósito dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Ji-Paraná**. Prefeitura do Município de Ji-Paraná. Rondônia. Novembro de 2008.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos Níveis de Basais de Concentração de Metais nos Sedimentos do Sistema Estuarino da Baixada Santista**. Ed. 1ª. Ed. Biblioteca 24h. São Paulo-SP. Março, 2012.

REIDLER, N. M. V. L.; GUNTHER, W. M. R. **Impactos sanitários e ambientais devido aos resíduos gerados por pilhas e baterias usadas**. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. México, 2002.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. M. **A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano**. REDES, Santa Cruz do Sul-RS, v. 13, n. 3, p. 5-13, set/dez. 2008.

SADRZADEH, S. M.; SAFFARI, Y. **Iron and brain disorders**. *Am J Clin Pathol*. 2004.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. **Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM)**. *Acta Amazonica*. Vol. 37(1) 2007.

SANTOS, J. P. **Caracterização de Cd, Co, Cu, Pb, Cr, Fe, Mn, Zn e Hg na lixeira urbana de Porto Velho – Rondônia**. Porto Velho: s.n., 2006.

SCHOENHALS, M.; OLIVEIRA, V.A.; FOLLADOR, F.A.C. **Remoção de chumbo de efluente de indústria recicladora de baterias**. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 6, n. 2, p. 055 -072, mai/ago 2009.

SEGATO, L. M. ; SILVA, C.L. **Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental- AIDIS, 2000, Porto Alegre - RS. Editora da ABES, 2000. Rio de Janeiro-RJ, 2000.

SEGURA-MUÑOZ, S. N. **Impacto Ambiental na Área do Aterro Sanitário e Incinerador de Resíduos Sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos Níveis de Metais Pesados**. 131 p. São Paulo, 2002.

SILVA, E.; FRANÇA, L. P.; NASCIMENTO, M. M. G. S.; ZOPELARO, R. M.; NETO, O. C.; SOARES, R. A. R.; GENESTRA, M. **Propostas à Prevenção de Riscos Ambientais relacionados ao Tratamento de Superfície com Cromatos**. UNIFOA Pós Graduação, Rio de Janeiro, 2008.

SISINNO, C. L. S.; NETTO, A. D. P.; REGO, E. C. P.; LIMA, G. S. V. **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em resíduos sólidos industriais: uma avaliação preliminar do risco potencial de contaminação ambiental e humana em áreas de disposição de resíduos**. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 19(2):671-676, mar-abr, 2003.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. **Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil**. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 12(4):515-523, out-dez, 1996.

SOARES, M. R. **Coefficiente de Distribuição (KD) de Metais Pesados e Sua Relação com Atributo Físico-Químicos de Solos do Estado de São Paulo.** Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2004. 202p.

TAKAMATSU, A. A. **Avaliação da Biolixiviação de Metais Pesados por Bactérias do Gênero *Thiobacillus* em Lodos Biológicos para Utilização Agrícola como Fertilizante.** Tese de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência do Solo - Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1995.

TSUTIYA, M. T. **Metais Pesados: O Principal Fator Limitante Para o Uso Agrícola de Biossólidos das Estações de Tratamento de Esgotos.** 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, RJ. 1999. I-140.

VENEZUELA, T. C. **Determinação de contaminantes metálicos (metal tóxico) num solo adubado com composto de lixo em área olerícola no município de Nova Friburgo.** Rio de Janeiro. 2001.

VOLKOFF, B.; CESAR, V. R. S. **Ferro nos Latossolos do Estado da Bahia.** Missão ORSTOM – Instituto de Geociências, UFBA. Salvador, 1977.

WHO. World Health Organization. **Trace elements in human nutrition and health.** Geneva, 1996.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. **Metais Pesados em Águas Superficiais como Estratégia de Caracterização de Bacias Hidrográficas.** QUÍMICA NOVA, 21(5) (1998).