
Avaliação da poluição ambiental de aquíferos e solo por metais-traço, provenientes de e-waste em Goiânia/GO

Evaluation of environmental pollution in water bodies and soil by metal-traffic, from e-waste in Goiânia/GO, Brazil

Evaluación de la polución ambiental de aquíferos y suelo por metales-traço, provenientes de e-waste en Goiânia/GO, Brasil

Aldo Muro Jr.

Instituto Federal de Goiás/Universitá di Pisa
murojr@gmail.com

Lídia Tereza Lemes Caetano
lidiatereza1@hotmail.com

Brunna Carvalho Machado
brunnarins@hotmail.com

Eliéser Viegas Wendt
elieserwendt@gmail.com

Nicola Pittet Muro
Universidade Federal de Goiás
nicmuro@gmail.com

Resumo

Os resíduos eletroeletrônicos (e-waste) apresentam elementos-traço em sua composição e são altamente nocivos à saúde humana e ao ambiente. O presente trabalho objetivou avaliar a contaminação de aquífero e de solo por elementos-traço, decorrente de e-waste. Foram coletadas amostras de água no Córrego da Onça e de solo no Aterro II e na Sucata do Goiânia II na cidade de Goiânia/GO, onde havia deposição de rejeitos eletroeletrônicos. Foram realizadas análises através de ICP-OES nas amostras de água coletadas e através da digestão assistida do solo e análise por micro-ondas, com base na norma EPA-3051A, para a verificação da presença de elementos-traço nas amostras. Os dados obtidos dos elementos-traço contidos nas amostras de

água foram comparados com o quantitativo de elementos-traço constantes dos limites ocupacionais indicados pela Organização Mundial de Saúde e pela Resolução Conama n. 357/2005. Os resultados dos elementos-traço encontrados nas amostras de solo foram cotejados com os índices desses elementos indicados na Resolução Conama n. 420/2009.

Palavras-chave: Meio ambiente. Resíduos eletroeletrônicos. E-waste. Elementos-traço. Legislação ambiental.

Abstract

Electronic waste (e-waste) has trace elements in its composition that are highly harmful to human health and to the environment. This study aimed to evaluate the contamination of groundwater and soil by trace metals, due to e-waste. Samples of water and soil were collected from different locals from the city of Goiania/GO, where there was deposition of e-waste. The water samples were analysed by ICP-OES. The soil samples were analysed due the EPA-3051A, by previous digestion in acid and warmed with microwave, to check the presence of trace elements. The results of trace elements contained in the water samples were compared with the amount elements contained in the occupational limits set by the World Health Organization (WHO) and the Resolução Conama n. 357/2005. The results of the trace elements found in the soil samples were compared with the indices of these elements indicated in Resolução Conama n. 420/2009.

Keywords: Environmental. Eletronic waste. E-waste. Trace-metals. Environmental legislation.

Resumen

Los residuos electro y electrónicos (e-waste) presentan elementos traza en su composición y son altamente nocivos para la salud humana y el ambiente. El presente trabajo objetivó evaluar la contaminación de acuífero y de suelo por elementos traza derivados de e-waste. Se recogieron muestras de agua en el Corriente de la Onza, y de suelo en el Aterro II y en la Sucata del Goiânia II en la ciudad de Goiânia/GO, donde había deposición de desechos electro y electrónicos. Se realizaron análisis por medio de ICP-OES en las muestras de agua recogidas; por medio de la digestión asistida del suelo y análisis por microondas, basado en la norma EPA-3051A, para la verificación de la presencia de elementos traza en las muestras. Los datos obtenidos de los elementos traza contenidos en las muestras de agua fueron comparados con el cuantitativo de elementos traza constantes en los límites ocupacionales indicados por la Organización Mundial de Salud y la Resolución Conama n. 357/2005. Los resultados de los elementos en las muestras de suelo fueron cotejados con los índices de esos elementos indicados en la Resolución Conama n. 420/2009.

Palabras clave: Medio ambiente. Residuos electro-electrónicos. Elementos traza. Legislación medioambiental.

Introdução

Diversas são as ações que estão circulando ao redor do mundo com o intuito de encontrar soluções para a problemática que implica os resíduos sólidos decorrentes de equipamentos eletroeletrônicos (MURO JR., 2010).

A Organização das Nações Unidas (ONU), por meio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), tem promovido fóruns internacionais, envolvendo pessoas jurídicas de direito público, de direito privado e de organizações não governamentais (ONGs) para encontrar uma solução para a questão da reciclagem do *e-waste* e a responsabilização de todos os envolvidos na problemática desses resíduos. Esse movimento culminou na aprovação da Diretiva n. 2002/95/EC, que limitou a utilização de certas substâncias tóxicas na produção de equipamentos eletroeletrônicos (MURO JR., 2010).

De acordo com o Pnuma (2013), em *Kunamoto, Japão, no dia 10 de outubro de 2013*, a Convenção de Minamata foi adotada por 140 países em uma conferência diplomática no Japão. O texto final desse tratado tinha sido acordado em janeiro desse mesmo ano, quando foram estabelecidas medidas de controle e diminuição do uso do mercúrio em uma série de processos e produtos, entre eles nas baterias e alguns tipos de lâmpadas fluorescentes.

Na América Latina, o Brasil lidera o ranking de produção de *e-waste*, seguido por México, Colômbia, Argentina, Peru, Venezuela, Chile, Equador e Guatemala (MURO JR., 2016). Contudo, mesmo em países que já empregam a logística reversa em seu ciclo produtivo-comercial, ainda há problemas ambientais decorrentes dos *e-waste*, uma vez que, na própria produção e nas técnicas empregadas no reuso dos equipamentos, há emprego de práticas como a submersão de placas de circuitos, cabos e de equipamentos eletrônicos em diversos elementos-traço para a extração de metais preciosos, como o ouro, o que pode afetar a saúde das pessoas envolvidas no processo e daquelas que consomem água, direta ou indiretamente, das fábricas que lançam resíduos nos processos de reuso e de reciclagem, como se observa em algumas cidades do continente asiático (YONGYONH et al., 2010; MURO JR., 2016).

Na cidade de Guiyu, China, em região de elevada atividade produtiva fulcrada em resíduos eletroeletrônicos, foram encontradas concentrações maiores de elementos-traço na placenta humana comparadas aos resultados referentes a uma área controlada, onde não ocorre processamento de *e-waste* (YONGYONH et al., 2010). Os metais-traço, quando ingeridos pelos seres humanos, são tóxicos, pois afetam os

mecanismos que regem as atividades bioquímicas e, ao se combinarem com as biomoléculas do corpo humano, como proteínas e enzimas, formam compostos biotóxicos estáveis, que são capazes de mutilar suas estruturas, impedindo de reagir às suas funções fisiológicas (DURUIBE; OGWUEGBU; EGWURUGWU, 2007).

A poluição por metais-traço se entende aos recursos hídricos impactando significativamente o habitat do orbe terrestre, pois a superfície do planeta é constituída por 29,3% de terras emersas e 70,7% de água. A maior parte da água existente encontra-se nos mares e oceanos (97,5%), enquanto os 2,5% restantes das reservas correspondem a água doce, mas não são totalmente aproveitáveis para o consumo, porque, segundo Almeida et al. (2006), encontram-se concentrados e congelados nas calotas polares e nos topos de montanhas (68,9%). Outra parte expressiva (29,9%) ocorre em reservatórios subterrâneos e apenas 0,3% de toda a água doce do planeta está localizada em rios e lagos, sendo de fácil acesso à população, mas fortemente suscetível à contaminação por poluentes diversos. O restante da água doce (0,9%) está distribuído entre pântanos, solos congelados, biomassa e vapor d'água (ALMEIDA et al., 2006).

A poluição dos recursos hídricos tem aumentado, principalmente, devido à taxa de crescimento industrial e populacional, levando a um incremento na produção e emissão de poluentes nos corpos d'água. Outros fatores também contribuem para a degradação e a poluição da água, como o manejo inadequado do solo para a agricultura e a pecuária, o uso de fertilizantes e pesticidas, o desflorestamento da mata ciliar, desencadeando a erosão, as enchentes e a diminuição das reservas de águas subterrâneas (ROCHA, 2008).

A contaminação dos recursos naturais pode ser tanto de ordem natural como de caráter antropogênico. De acordo com Moraes e Jordão (2002), os impactos exercidos pelo homem são de dois tipos: primeiro, o consumo de recursos naturais em ritmo mais acelerado do que aquele no qual eles podem ser renovados pelo sistema ecológico; segundo, a geração de produtos residuais em quantidades maiores do que as que podem ser integradas ao ciclo natural de nutrientes.

Estima-se que aproximadamente doze milhões de pessoas no mundo morrem anualmente por problemas relacionados com a qualidade da água. No Brasil, esse problema não é diferente, uma vez que os registros do Sistema Único de Saúde (SUS) mostram que 80% das internações hospitalares do país se devem a doenças de veiculação hídrica, ou seja, doenças que ocorrem em razão da qualidade imprópria da água para o consumo humano (MERTEN; MINELLA, 2002).

No caso da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, situada na Região Centro-Oeste brasileira, onde a vegetação dominante é o cerrado, e o clima proporciona dois períodos muito distintos (chuvas e seca intensa), os 85 cursos d'água de sua hidrográfica – 4 ribeirões (Anicuns, João Leite, Capivara e Dourados), 1 rio (Meia Ponte) e 80 córregos – estão sujeitos a grande possibilidade de contaminação por metais-traço. Isso porque na seca, quando fica reduzido o volume da água, há deposição de lixo de toda a natureza na área de retração hídrica, lixo esse que, durante o período de chuvas, acaba tendo a sua destinação final nos corpos d'água. Está nessa condição a importância de buscar formas de descontaminação e de remediação das águas contaminadas por elementos-traço e outros resíduos.

Segundo informações divulgadas pela Agência Municipal do Meio Ambiente de Goiânia (2013), os principais problemas verificados nos mananciais da capital são: ausência de mata ciliar, lançamentos clandestinos de esgoto e de entulho, focos de erosão, assoreamento e ocupação irregular de faixa de Zona de Proteção Ambiental (ZPA-I). O gerenciamento dos recursos hídricos da cidade não está em consonância com os dispositivos legais, pois o Poder Público se posiciona de maneira negligente em relação à manutenção, à conservação e à fiscalização desses recursos e, ao mesmo tempo, recebe denúncias da população de agressões ocorridas nos córregos e nos rios que cortam a Região Metropolitana de Goiânia (RMG), como também através da mídia escrita e televisiva (PAULA, 2010).

O solo tem sido utilizado por gerações como receptor de substâncias resultantes da atividade humana, atua como depósito de resíduos que são carregados com a precipitação pluviométrica intensa. Com o aparecimento dos processos de transformação em grande escala a partir da Revolução Industrial, a liberação descontrolada de poluentes para o ambiente e sua

consequente acumulação no solo e nos sedimentos sofreram uma mudança drástica de forma e de intensidade, explicada pelo uso intensivo dos recursos naturais e pelo aumento dos resíduos gerados pelas atividades urbanas, industriais e agrícolas (CETESB, 2013).

O solo atua como um “filtro”, tendo a capacidade de depuração e imobilizando grande parte das impurezas nele depositadas (CETESB, 2013). No entanto, essa capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo, devido ao efeito acumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, à aplicação de agrotóxicos e fertilizantes e à disposição de resíduos sólidos industriais e urbanos e de materiais tóxicos e radioativos.

A contaminação por elementos-traço no solo resulta, principalmente, da aplicação de resíduos urbanos e industriais e do uso de fertilizantes e pesticidas na agricultura. Concentrações elevadas de metais no solo podem afetar a produtividade, a biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas, constituindo risco para a saúde dos seres humanos e animais (SUN et al., 2001 apud MELO et al., 2006).

Segundo Muro Jr. (2010), a falta de correta destinação dos resíduos oriundos dos equipamentos eletroeletrônicos produz sérios impactos sobre o meio ambiente, haja vista que a rápida obsolescência das peças eletrônicas faz com que os equipamentos elétricos e eletrônicos se tornem resíduos sem qualquer utilidade tecnológica ou econômica, fazendo com que as pessoas os “joguem fora” junto aos resíduos comuns, acarretando sua incorreta destinação final em lixões ou em aterros sanitários.

O Poder Público não indica locais adequados para o descarte dos resíduos eletroeletrônicos e, portanto, as pessoas não conhecem a real importância de descartá-los em locais e da forma correta. O descarte incorreto cria possibilidades de contaminar o solo e as águas subterrâneas e superficiais, afetando, conseqüentemente, a produção de alimentos, o meio ambiente e o próprio ser humano.

A Companhia de Urbanização de Goiânia (Comurg), responsável pelo lançamento de resíduos no Aterro Sanitário de Goiânia, não possui dados da quantidade recebida de *e-waste*, considerando que eles chegam ao aterro misturados aos resíduos domiciliares, o que dificulta a constatação desses

dados. Os resíduos mais comuns detectados são as pilhas, baterias de celular e lâmpadas (AMMA, 2013).

O Decreto Municipal de Goiânia n. 754, de 28 de março de 2008, que instituiu o Programa Goiânia Coleta Seletiva (PGCS), começou a ser executado no mesmo ano de sua aprovação. Seu objetivo foi evitar que materiais recicláveis fossem diretamente para o aterro sanitário, beneficiando as cooperativas de catadores. Segundo o PGCS, tubos de TVs, monitores de computador e eletrônicos em geral deveriam ser encaminhados a empresas que tratam de sucatas eletrônicas.

A Resolução Conama n. 401, de 4 de novembro de 2008, referente aos limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias, estabelece os critérios e padrões para o gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e baterias. De acordo com essa resolução, tais resíduos podem retornar ao local de origem da compra ou ser encaminhados aos pontos de entrega voluntária (PEV), que devem estar distribuídos em diferentes locais das cidades.

Em 2010, entrou em vigor no Brasil a Lei n. 12.305, de 3 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A referida lei instituiu a obrigatoriedade da coleta seletiva e a logística reversa como instrumentos econômicos da PNRS.

Atualmente, uma das únicas alternativas oferecidas pela Prefeitura de Goiânia é o projeto Cata-Treco, que busca os resíduos de grande volume nas residências através de agendamento e os repassa para cooperativas que fazem a reciclagem. Quando aparece *e-waste* que não se reaproveita, fazem uma triagem e encaminham para uma empresa localizada no Setor Leste Vila Nova. Ainda nesse projeto, verificaram-se falhas na sua operação, visto que não há indícios de empresa de sucata eletrônica que esteja recolhendo tais resíduos.

O afastamento do Poder Público das questões relacionadas à reciclagem do *e-waste* foi verificado pela falta de destinação ambientalmente correta desses resíduos e pela falha dos projetos existentes. Outrossim, a ausência de trabalho conjunto com o meio acadêmico, que seria capaz de indicar as melhores soluções para a correta destinação do *e-waste*, mitigando, assim, os danos ocasionados ao ambiente, traz consequências difusas graves,

capazes de afetar a vida humana ainda em sua fase embrionária, muitas vezes com patologias congênitas, pela contaminação da placenta de seres vivos (MURO JR., 2010; YONGYONG, 2010).

Com isso, a inexistência de publicações de autores brasileiros na área de resíduos sólidos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos revela que, assim como outros países em desenvolvimento, o Brasil ainda não demonstrou interesse científico por uma problemática de cunho mundial a qual pode acarretar diversos efeitos negativos para a saúde humana e para o meio ambiente, quando esses resíduos são destinados de forma incorreta ou reciclados utilizando técnicas informais (MURO JR., 2010).

O objetivo deste trabalho foi analisar amostras de água e de solo, coletadas na cidade de Goiânia no corpo d'água Córrego da Onça e em locais de depósito de resíduos eletroeletrônicos, para a verificação da presença de metais-traço e, assim, da contaminação da água e do solo nos pontos de coleta. Para tanto, foram avaliados os locais onde há descarte de *e-waste* (lixões, empresas de reciclagem, depósitos de *e-waste*) e os índices de contaminação por *e-waste*. Considerando os resultados, apresentam-se formas de descontaminação de aquíferos e solo por elementos provenientes de *e-waste*.

Metodologia

Coleta de amostra do Córrego da Onça

O Córrego da Onça foi escolhido para a coleta de água devido à proximidade em que ele se encontra de um empreendimento que tem como atividade a reciclagem de eletroeletrônicos. A empresa está situada no local há mais de dez anos, tempo suficiente para causar contaminação ambiental difusa. Foram coletadas amostras de água em três pontos equidistantes às margens do córrego em estudo. As amostras foram obtidas superficialmente, pois o curso d'água apresenta alta viscosidade e baixo volume. As coordenadas UTM e geográficas dos pontos estão identificadas no Quadro 1.

A coleta foi realizada em frascos de polietileno de “boca larga” com capacidade de 1L. As amostras foram armazenadas em frascos de 200 mL, previamente submetidos a procedimento de descontaminação por tríplex lavagem com água deionizada e acidificados com ácido nítrico 65%, para preservação analítica. Foram adicionadas três gotas de ácido nítrico em cada frasco durante a coleta para acidificar as amostras e mediu-se o pH, que ficou abaixo de 2.

QUADRO 1

Coordenadas UTM e geográficas dos pontos coletados no córrego da onça

Ponto	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Latitude	Longitude
1	8156364.00 m	688233.00 m	16°40'4.02"S	49°14'5.74"O
2	8156402.00 m	688214.00 m	16°40'2.79"S	49°14'6.39"O
3	8156424.00 m	688195.00 m	16°40'2.08"S	49°14'7.04"O

ICO-OES

A quantificação dos metais foi realizada no ICP-OES da *Thermo Fisher Scientific*, modelo iCAP 6300 Duo, com os seguintes acessórios: tubos de *tygon*, nebulizador concêntrico, câmara de nebulização ciclônica e tubo central de 2 mm. O ICP-OES consiste em uma técnica analítica que se baseia na emissão de radiação eletromagnética das regiões visível e ultravioleta do espectro eletromagnético por átomos neutros ou átomos ionizados excitados. É uma ferramenta analítica para a determinação de metais, semi-metais e não metais em diversos tipos de amostras (EPA 3051-A).

Comprimentos de onda utilizados

Os comprimentos de onda foram escolhidos levando em consideração as linhas de maior intensidade e de menor número de interferentes, ou seja: Al (396,152 nm), B (249,773 nm), Ba (455,403 nm), Be (234,861 nm), Bi (223,061 nm), Ca (315,887 nm), Cd (214,438 nm), Co (228,616 nm), Cr (267,716 nm), Cu (324,754nm), Fe (259,940 nm), K (769,896 nm), Li (670,784 nm), Mg (280,270 nm), Mn (257,610 nm), Mo (202,030 nm), Na (588,995 nm), Ni (231,647 nm), P (178,284 nm), Pb (220,353 nm), Sn

(189,989 nm), Sr (421,552 nm), Ti (337,280 nm), Tl (190,856 nm), V (292,402 nm) e Zn (206,200 nm).

Coleta de amostra de solo na sucata do Goiânia II

Foram coletadas amostras de solo em três pontos no Setor Goiânia II em um depósito de sucata de ferro, um local que também é utilizado como descarte de *e-waste*. As coordenadas UTM e geográficas desses pontos estão identificadas no Quadro 2. As amostras foram obtidas superficialmente devido ao alto grau de compactação do solo e a grande quantidade de resíduo presente no local.

QUADRO 2

Coordenadas UTM e geográficas dos pontos de coleta no Goiânia II

Ponto Nº	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Latitude	Longitude
1	8158583.13 m	686052.03 m	16°38'52.46"S	49°15'19.99"O
2	8158587.13 m	686052.66 m	16°38'52.33"S	49°15'19.97"O
3	8158589.84 m	686058.31 m	16°38'52.24"S	49°15'19.78"O

Coleta de amostra de solo no Aterro II

O processo de coleta de amostra no Aterro II seguiu a mesma metodologia utilizada para coleta no depósito de sucata. Foram coletadas amostras de solo superficialmente em três pontos no Aterro II localizado na Rodovia GO-020, com as coordenadas apresentadas no Quadro 3. Essas amostras foram encaminhadas para laboratório especializado em análise de metais em solo.

QUADRO 3

Coordenadas UTM e geográficas dos pontos de coleta no Aterro II

Ponto Nº	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Latitude	Longitude
1	8149178.00 m	695712.00 m	16°43'55.56"S	49° 9'51.12"O
2	8149208.12 m	695760.09 m	16°43'54.57"S	49° 9'49.51"O
3	8149641.88 m	695930.89 m	16°43'40.41"S	49° 9'43.88"O

Método EPA 3051a

Todas as amostras de solo foram analisadas utilizando-se o método da EPA n. 3051-A, através da digestão assistida do solo, em meio ácido, por ácidos nítrico e clorídrico, a 175°C ±5°C, com patamar de aquecimento em 2,5°C/min. A análise foi efetuada via micro-ondas e QC (EPA 3051-A).

Resultados e discussão

A concentração média de elementos-traço que foram encontrados na água coletada do Córrego da Onça, em relação aos três pontos de coleta, seguindo a ordem quantitativa decrescente, foi:

$$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Sr} > \text{Ba} > \text{Fe} > \text{Mn} = \text{Zn}.$$

Para os elementos-traços das amostras coletadas no depósito de sucata do Goiânia II, foi:

$$\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cd};$$

para o Aterro II, foi:

$$\text{Mn} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cd}.$$

Nas análises de água, os elementos-traço Al, B, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, P, Pb, Sn, Ti, Tl e V foram analisados, mas apresentaram valores abaixo do limite de quantificação do equipamento ICP-OES. Os dados obtidos foram comparados aos níveis legais de exposição, ambientais e ocupacionais, objetivando analisar os graus de comprometimento para a biota e para a saúde humana, cotejados com os limites máximos de submissão descritos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), de acordo com Muro Jr. (2013).

Para os seres humanos, esses níveis foram utilizados pelo fato de que normalmente leva-se em consideração a exposição humana às substâncias patogênicas durante um intervalo de tempo médio de 8 horas/dia. Como o limite de exposição a elementos patogênicos presentes no ambiente sobrepuja esse limite diário, pelo fato de que os seres humanos estão sujeitos a 24 horas de exposição ao ambiente onde vivem, esses valores

servem como referência para a garantia de não contaminação humana (WHO, 2009; MURO JR., 2013).

Os elementos-traço Ba, Fe, Mg, Na e Sr, apesar de serem detectados na água do Córrego da Onça, não se enquadram nos limites estabelecidos pela OMS. Os elementos-traço Ca, K, Mg, Na e Sr foram detectados naquele aquífero, porém não aparecem na Resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), fato que denota a necessidade de alteração da norma ambiental, pois constituem elementos altamente nocivos aos seres humanos e à biota em geral (WHO, 2009; MURO JR., 2013).

Para a análise das amostras de solo, foram utilizados os valores orientadores para solo residencial conforme a Resolução Conama n. 420, de 28 de dezembro de 2009, haja vista que os pontos de coleta estão localizados em áreas residenciais, segundo o Plano Diretor da cidade de Goiânia (2007). Nas amostras do depósito de sucata e do Aterro II foram encontrados os elementos-traço Fe e Mn, entretanto não há valores estabelecidos na referida resolução (BRASIL, 2009).

Os quantitativos de elementos-traço encontrados no Córrego da Onça foram comparados com os limites máximos a que os seres humanos podem ser submetidos sem risco de apresentarem patologias, segundo a OMS e a Resolução Conama n. 357/2005 (BRASIL, 2005). Essa comparação encontra-se representada por meio de histogramas, constantes dos gráficos de 1 a 8.

QUADRO 4

Concentração de elementos-traço [mg/m³] encontrados no Córrego da Onça em Goiânia, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela OMS e Resolução Conama n. 357/2005

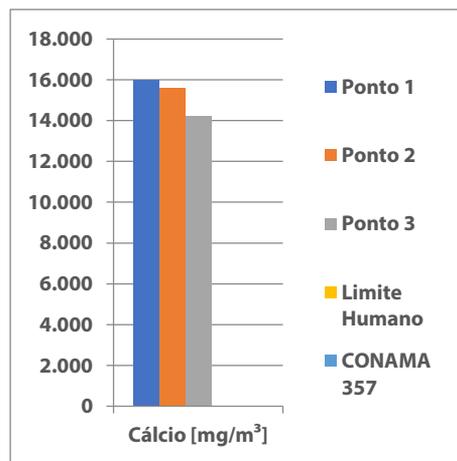
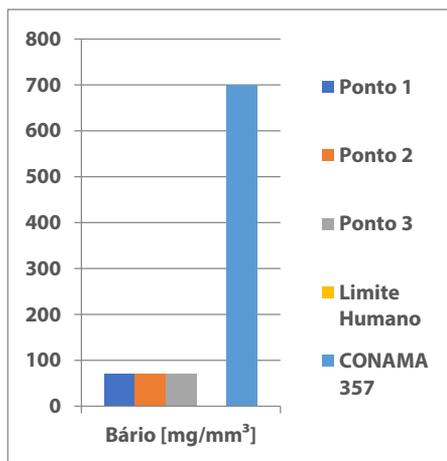
[mg/m ³]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Limite humano - OMS ¹	Resolução Conama n. 357 ²
Ba	70	70	70	- ³	700
Ca	16.000	15.590	14.230	0,025	-
Fe	10	20	10	-	300

¹ Limites de exposição ocupacional.

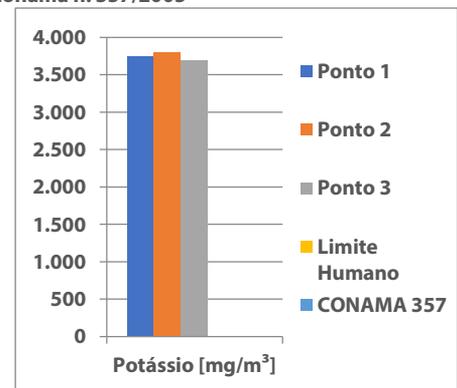
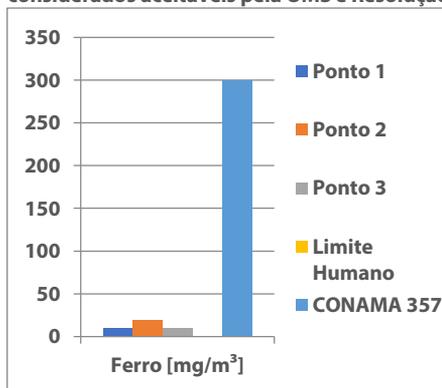
² Limites de emissão em águas doces para consumo humano.

³ O hífen (-) indica ausência de limites tanto nos padrões da OMS quanto nas normas brasileiras.

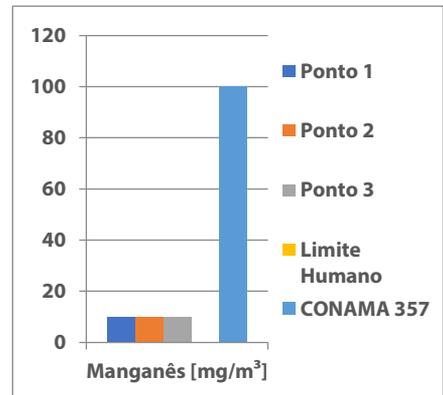
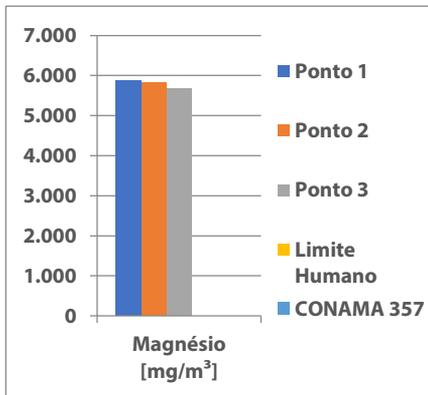
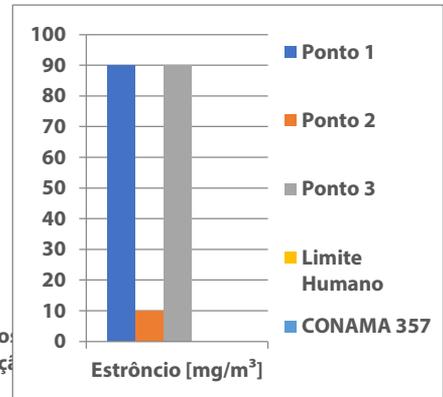
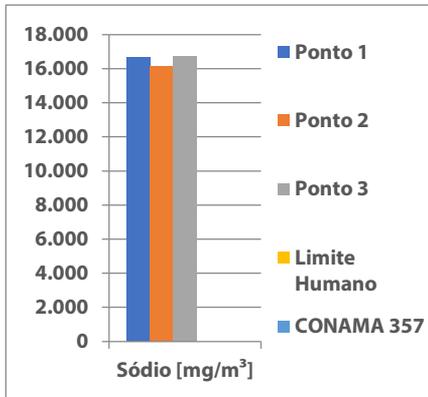
K	3.740	3.800	3.690	0,01	-
Mg	5.870	5.810	5.680	-	0
Mn	10	10	10	0,01	100
Na	16.680	16.120	16.740	-	-
Sr	90	10	90	-	-
Zn	10	10	10	0,001	180



Gráficos 1 e 2 – Níveis de Bário e Cálcio nos três pontos de coleta, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela OMS e Resolução Conama n. 357/2005



Gráficos 3 e 4 – Níveis de Ferro e Potássio nos três pontos de coleta, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela OMS e Resolução Conama n. 357/2005



Gráficos 7 e 8 – Níveis de Sódio e Estrôncio, respectivamente, nos três pontos de coleta, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela OMS e Resolução Conama n. 357/2005

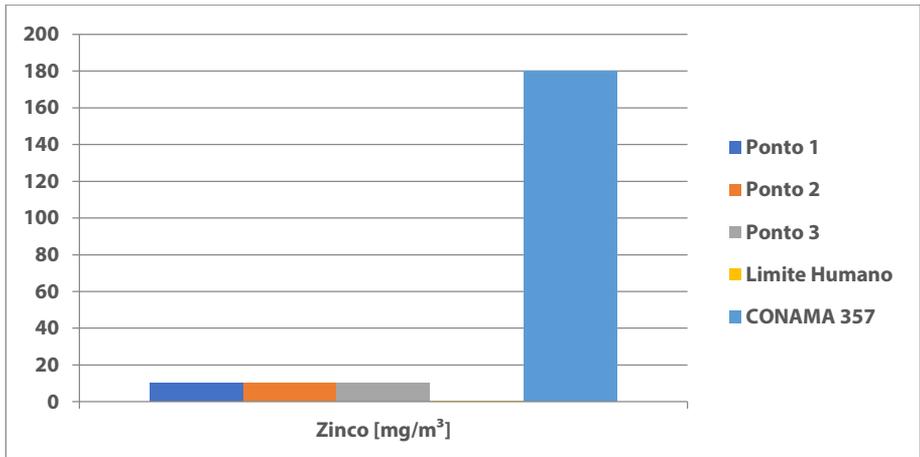


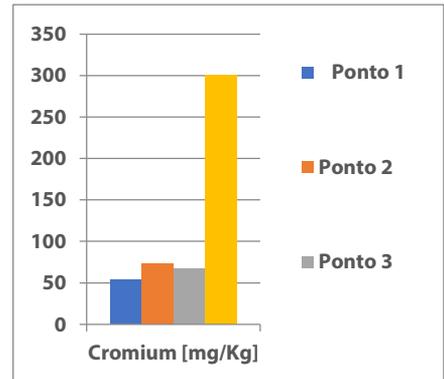
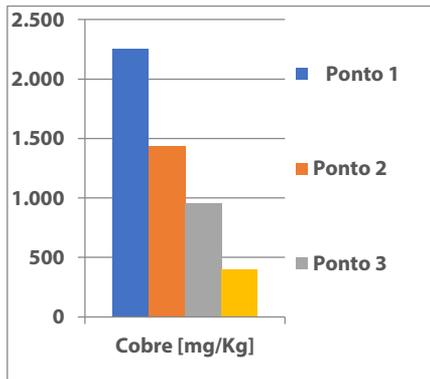
Gráfico 9 – Nível de Zinco nos três pontos de coleta, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela OMS e Resolução Conama n. 357/2005

QUADRO 5

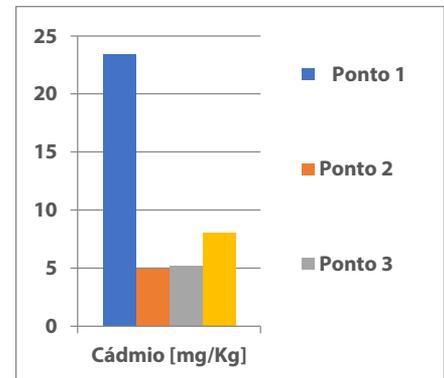
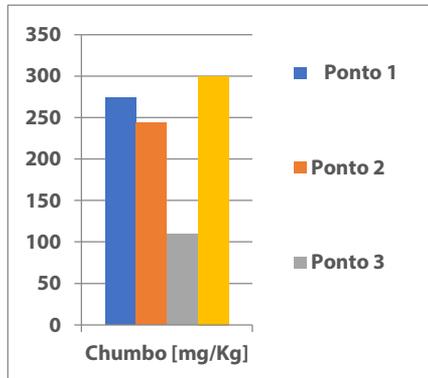
Concentração de elementos-traço [mg/kg] encontrados no depósito de sucata do Setor Goiânia II

[mg/kg]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Resolução Conama n. 420/2009
<i>Cd</i>	23,41	4,96	5,23	400
<i>Cu</i>	2.251,40	1.434,2	961,2	8
<i>Pb</i>	273,46	243,71	109,67	300
<i>Cr</i>	53,96	72,94	66,57	300
<i>Mn</i>	642,90	250,7	225,7	0
<i>Ni</i>	38,04	43,56	30,57	100
<i>Zn</i>	460,80	522,2	318,4	1000

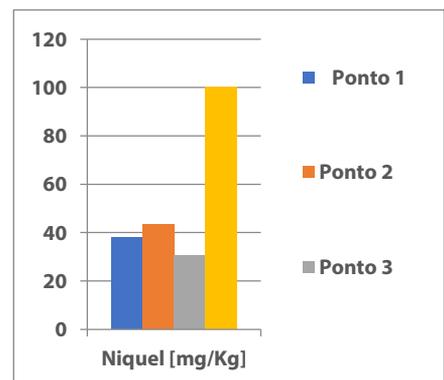
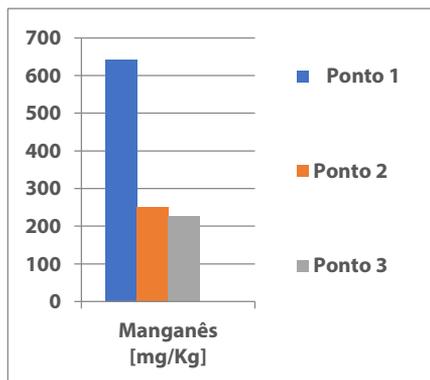
A comparação, por meio de histogramas, entre os quantitativos de elementos-traço encontrados no depósito de sucata do Setor Goiânia II e os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009 está representada nos gráficos de 10 a 16.



Gráficos 10 e 11 – Nível de Cobre e Cádmiom nos três pontos de coleta no depósito de sucata, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009



Gráficos 12 e 13 – Nível de Chumbo e Cromo nos três pontos de coleta no depósito de sucata, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009



Gráficos 14 e 15 – Nível de Manganês e Níquel nos três pontos de coleta no depósito de sucata, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009

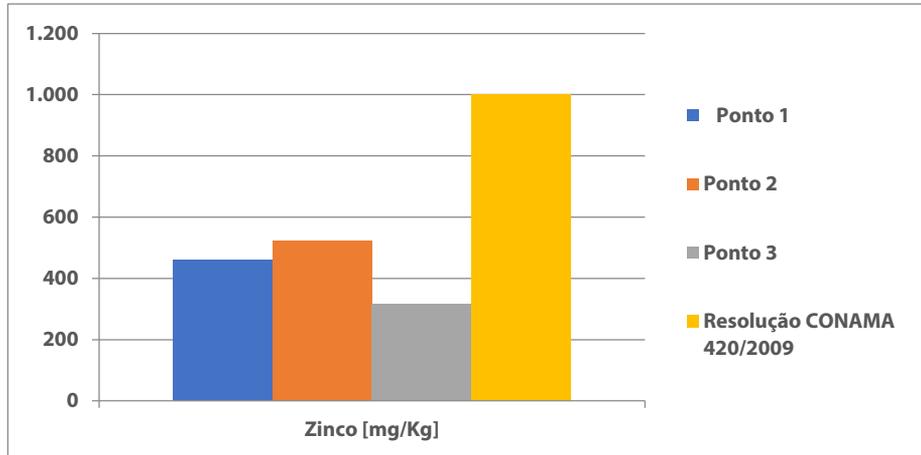


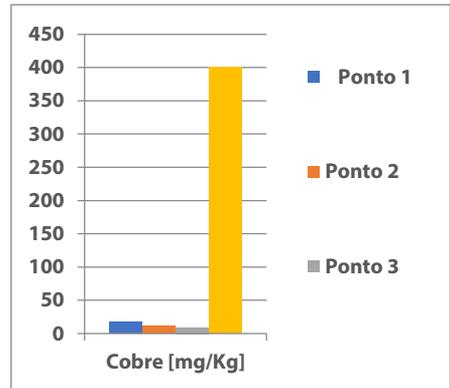
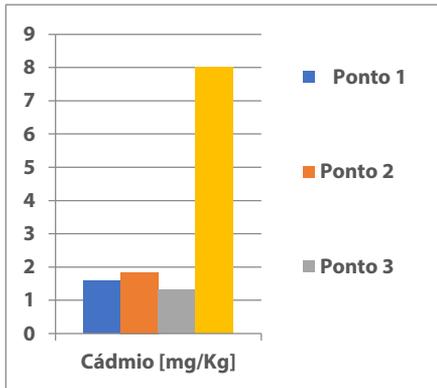
Gráfico 16 – Nível de Zinco nos três pontos de coleta no depósito de sucata, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009

QUADRO 6

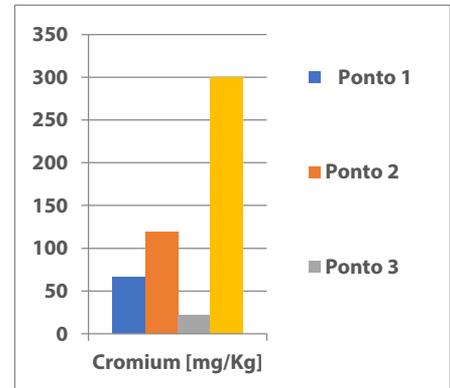
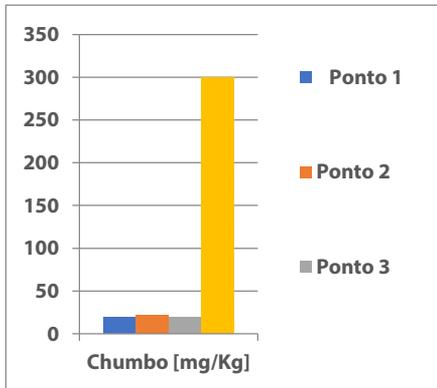
Concentração de elementos-traço [mg/kg] encontrados no Aterro II

[mg/kg]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Resolução Conama n. 420/2009
<i>Cd</i>	1,58	1,84	1,30	400
<i>Cu</i>	17,90	11,40	9,30	8
<i>Pb</i>	19,80	21,90	19,23	300
<i>Cr</i>	65,92	119,26	21,90	300
<i>Mn</i>	203,40	117,60	117,10	0
<i>Ni</i>	9,10	5,55	5,25	100
<i>Zn</i>	36,90	50,80	14,40	1000

A comparação, por meio de histogramas, entre os quantitativos de elementos-traço encontrados no Aterro II e os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009 está representada nos gráficos de 17 a 23.



Gráficos 17 e 18 – Nível de Cádmio e Cobre nos três pontos de coleta no Aterro II, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009



Gráficos 21 e 22 – Nível de Manganês e Níquel nos três pontos de coleta no Aterro II, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009

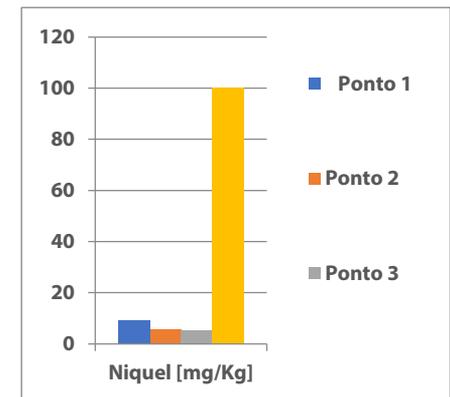
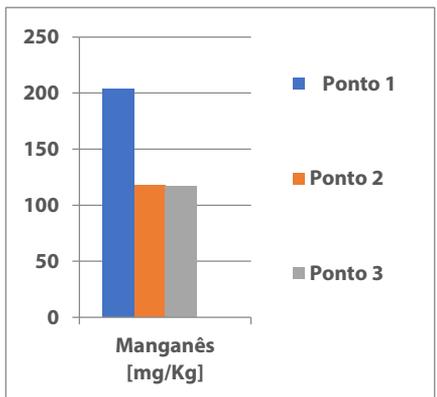


Gráfico 23 – Nível de Zinco nos três pontos de coleta no Aterro II, comparados com os níveis considerados aceitáveis pela Resolução Conama n. 420/2009

Nos gráficos de 24 a 26, apresentam-se em histograma os valores da média e pontos com o valor máximo admitido pela Resolução Conama n. 420/2009, das amostras de solo do depósito de sucata e do Aterro II para cada metal encontrado.

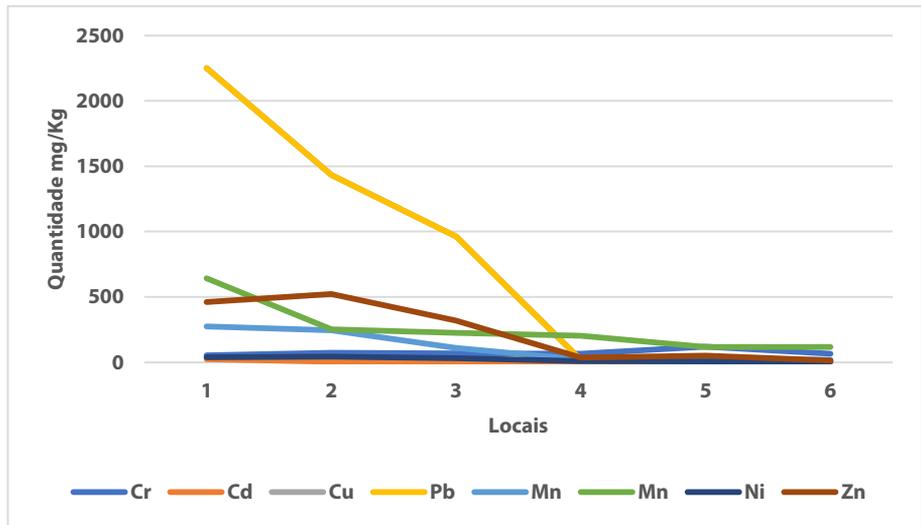


Gráfico 24 – Níveis de elementos-traço nas amostras de solo do depósito de sucata (pontos 1, 2 e 3) e do Aterro II (pontos 4, 5 e 6)

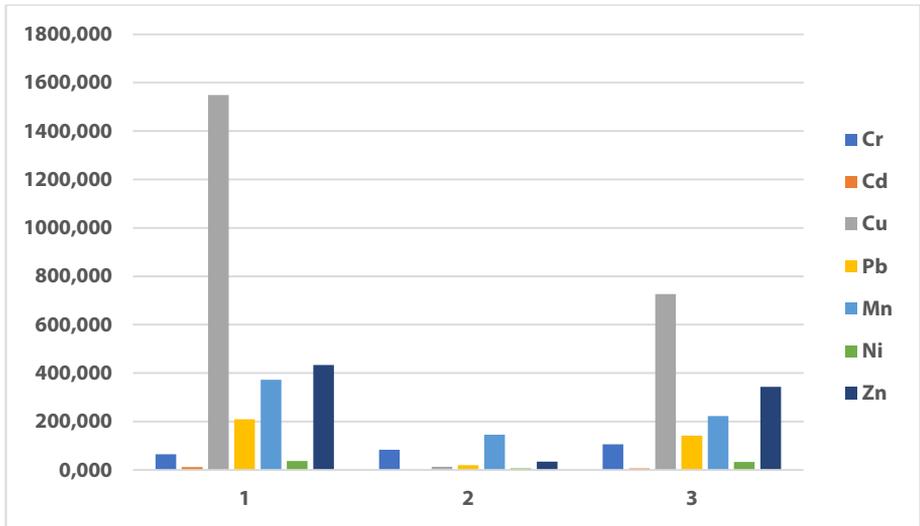


Gráfico 25 – Média dos níveis de elementos-traço em mg/kg das amostras de solo dos três pontos do depósito de sucata (1), dos três pontos do Aterro II (2) e dos seis pontos juntos (3)

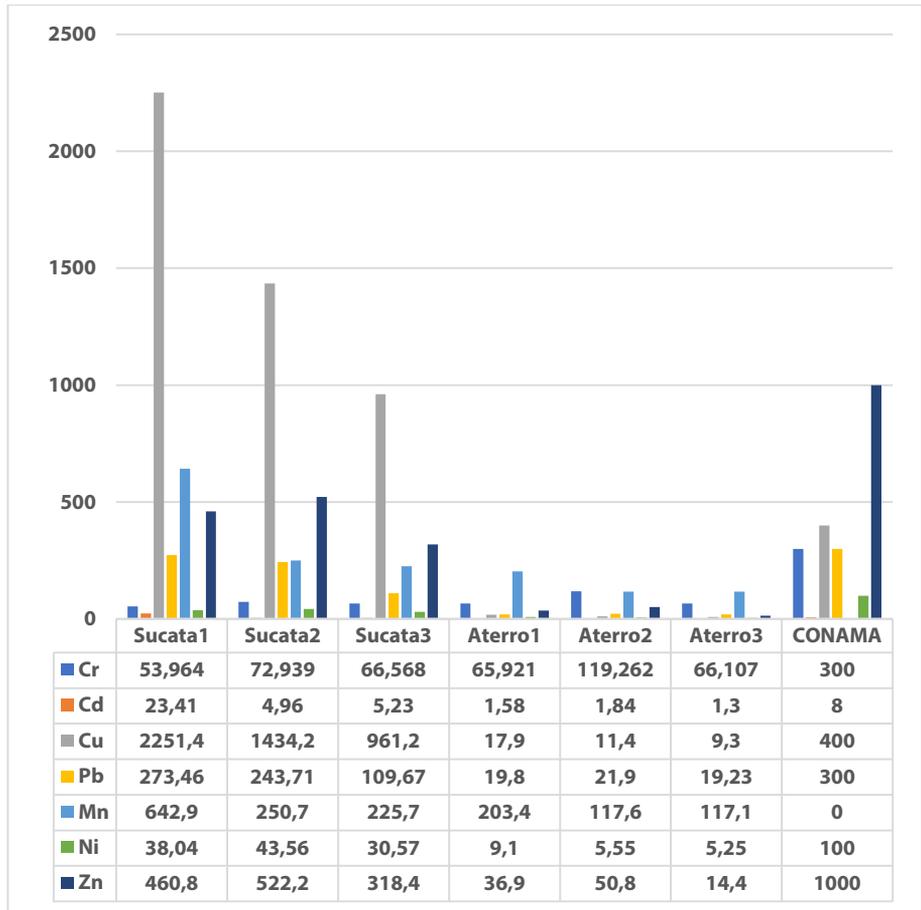


Gráfico 26 – Níveis de elementos-traço nas amostras de solo do depósito de sucata e do Aterro II, comparados aos valores recomendados pela Resolução Conama n. 420/2009

Comparando-se os níveis de metais-traço que foram encontrados nos solos do depósito de sucata e do aterro com os níveis permitidos pela Resolução Conama n. 420/2009 para solos domésticos, conforme classificação da região pelo Plano Diretor de Goiânia (GOIÂNIA, 2007), depreende-se que os níveis de Cádmi e Cobre estão acima do permitido pela norma infralegal. A resolução do Conama não estabeleceu limites para a quantidade de Manganês no solo. Contudo, os níveis aceitáveis para exposição humana a metais-traço, de acordo com a OMS (Tabela 4), são muito inferiores aos da norma brasileira, que precisa, portanto, ser objeto de revisão.

Conclusões

A amostra de solo do Aterro II estava com níveis de concentração de elementos-traço abaixo do recomendado e permitido para o meio ambiente natural e artificial. Para a amostra de água do Córrego da Onça e a amostra de solo do depósito de sucata do Goiânia II, a concentração de elementos-traço estava muito superior ao recomendado pelo limite de exposição ocupacional humano.

Os locais onde as amostras foram coletadas (Córrego da Onça, Aterro II e depósito de sucata do Goiânia II) apresentam poluição ambiental pelos elementos-traços Cd, Ca e Cu, K, Mn e Zn, pois a análise revelou limites acima do permitido pela OMS e pela Resolução Conama n. 420/2009.

Dada a poluição oriunda de resíduos eletroeletrônicos (*e-waste*), fazem-se necessárias: a reformulação da Resolução Conama n. 357/2005, a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos e a aplicação restritiva das normas de coleta seletiva e de logística reversa. Além disso, mostra-se fundamental realizar a descontaminação e a remediação da água e do solo nos locais estudados. Para tanto, têm-se utilizado diferentes formas de descontaminação, das quais se pode mencionar a adsorção, que corresponde à acumulação de uma substância em uma interface (adsorvente). Esse processo tem se revelado extremamente eficaz na remoção de diversos contaminantes, tais como metais pesados tóxicos em efluentes industriais, cor de efluentes têxteis, entre outros.

Agradecimento

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg) o apoio financeiro.

Referências

ALMEIDA, L. et al. *Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia, 2006. Disponível em:

<http://www.sieg.go.gov.br/downloads/Livro_Hidrogeologia.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução Conama n. 357, de 18 de março de 2005, alterada pelas Resoluções Conama n. 410/2009 e 430/2011*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

_____. *Resolução Conama n. 420, de 28 de dezembro de 2009*. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). *Solo: poluição*. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/solo/poluicao/>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

DURUIBE, J. O.; OGWUEGBU, M. O. C.; EGWURUGWU, J. N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, v. 2, n. 5, p. 112-118, 2007.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. EPA (Environmental Protection Agency). Método EPA-3051a. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

GOIÂNIA. Agência Municipal do Meio Ambiente. *Relatório de informações ambientais*. Disponível em: <<http://www.goiania.go.gov.br/html/amma>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

_____. Câmara Municipal de Goiânia. *Lei Complementar n. 171, de 26 de junho de 2007*. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.goiania.go.gov.br/Download/seplam/Colet%C3%A2nea%20Urban%C3%ADstica/1.%20Plano%20Diretor/1.%20Plano%20Diretor%20-%20Lei%20Comp.%20171.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MELO, E. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q. Solubilidade, fracionamento e fitoextração de metais pesados após aplicação de agentes quelantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 30, p. 1051–1060, 2006.

MERTEN, G. H; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MORAES, D. S de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista Saúde Pública*, v. 36, n. 3, p. 370- 374, 2002.

MURO JR., A. *Publicações sobre contaminação ambiental decorrente de resíduos sólidos de equipamentos eletroeletrônicos (e-waste), durante o período de 1990 a 2010*. Goiânia: CIAMB-UFG, 2010.

_____. *Proposta de implementação de legislação ambiental, através de políticas de controle de poluição atmosférica, por meio de sistemas de monitoramento passivo*. 2013. 135 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

_____. Aspectos legais da poluição do ar. *Revista Internacional de Direito Ambiental*, n. 15, p. 11-48, 2016.

ONU (Organização das Nações Unidas). Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Disponível em:
<http://www.pnuma.org.br/comunicados_detalhar.php?id_comunicados=261>. Acesso em: 15 jul. 2017.

PAULA, M. R. de. *Percepção ambiental e gestão dos recursos hídricos: uma análise de parques de Goiânia na perspectiva das ciências ambientais e da saúde*. 2010. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2010.

ROCHA, A. T. S. *Avaliação da qualidade da água do Córrego Samambaia afluente do Córrego Anicuns*. 2008. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008.

WHO (World Health Organization). *Public Health and the Environment*. Geneva: WHO, 2009. Disponível em:

<http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/angola.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2017.

YONGYONG, G. et al. Monitoring of lead, cadmium, chromium and nickel in placenta from na e-waste recycling town in China. *Science of the Total Environment* n. 408, p. 3113-3117, 2010.