



Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva ¹
Patrícia Raquel da Silva Sottoriva ²
Priscila Rodrigues Gomes ³
Eliane Carvalho de Vasconcelos ⁴
Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho ⁵

RESUMO

A população mundial vem aumentando consideravelmente e, por consequência, as altas taxas de consumo e produção elevam a geração de resíduos. No Brasil entre 2004 a 2014 o crescimento populacional foi de 13%, nesse mesmo período, o aumento no percentual de resíduos gerados foi de 25%. Somente no ano de 2013 foram geradas cerca de 76 milhões de toneladas de resíduos sólidos, dos quais próximo de 28 milhões de toneladas foram destinados a lixões. O objetivo deste estudo foi avaliar os riscos potenciais à saúde humana pela presença de metais em solo e água subterrânea em uma área com disposição inadequada de resíduos na Cidade Industrial de Curitiba/PR. Para a análise de risco à saúde foi utilizada a metodologia Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação, também chamada de Planilhas CETESB. O modelamento indicou que existe risco potencial para as vias de exposição de Inalação de vapores em ambiente fechado, contato dérmico e ingestão de água subterrânea.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Áreas Contaminadas. Substâncias Químicas.

¹ Mestranda do Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, Curitiba Parana. eng.emsottoriva@gmail.com

² Doutora em Gestão Ambiental. Professora do Programa de Mestrado e Doutorado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, Curitiba, Parana. patricia.sottoriva@gmail.com

³ Doutora em Gestão Ambiental. Pós Doutoranda do Programa de Mestrado e Doutorado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, Curitiba, Parana. priscilarodgom@gmail.com

⁴ Doutora em Gestão Ambiental. Professora do Programa de Mestrado e Doutorado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, Curitiba, Parana. ecarvalhodevasconcelos@gmail.com

⁵ Doutor em Gestão Ambiental. Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, Curitiba Parana. marccarv@gmail.com

Com o crescimento populacional tem aumentado a quantidade de resíduos sólidos gerados, que por falta de infraestrutura e políticas urbanas adequadas são destinados irregularmente. Nos relatórios anuais de resíduos sólidos urbanos (RSU) do Brasil publicado pela ABRELPE, no período de 2004 a 2014, a geração de resíduos sólidos registrou crescimento de aproximadamente 25% nos últimos 10 anos, índice percentual superior à taxa de crescimento populacional urbano do país que foi de aproximadamente 13% no mesmo período (Abrelpe 2014). Segundo o relatório de 2017 a geração de RSU anual no Brasil foi superior 78 milhões de toneladas, em relação a geração de 2016 houve aumento em cerca de 1%. O relatório também aponta que 3.352 municípios brasileiros realizaram despejo de resíduos em locais inadequados, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, com danos diretos à saúde de milhões de pessoas (Abrelpe 2017). Com isso, pode-se observar a elevada geração de resíduos que indica a necessidade crescente de sistemas de gerenciamento, tanto nos setores públicos como privados, além de estudos nas áreas onde os resíduos estão sendo depositados. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei 12.305/2010 deu um passo importante no Brasil no sentido de implementar uma política de gestão sustentável de resíduos e estabeleceu o fechamento dos lixões até 2014, prorrogou o prazo para 2018 e, de novo o prazo foi prorrogado para 2021. Independente do período de fechamento é necessário acompanhar a evolução ambiental das estruturas e o risco socioambiental para as áreas com tais passivos.

Para Lopes (2006) e Bastos (2015), o fechamento dos lixões não significa que estes não serão mais um perigo para o ambiente e a população, uma vez que foram destinados resíduos sem considerar as legislações ambientais. Segundo Bastos (2015) é necessário acompanhar o cumprimento do que está previsto nos planos municipais de gerenciamento de resíduos sólidos (PMGRS).

Depois de encerrar a atividade de um lixão, deve-se elaborar um plano de monitoramento ambiental na área, e sempre que necessário realizar estudos de caracterização. Na cidade do Rio de Janeiro o PMGRS traz como uma das suas metas monitorar os antigos lixões e, posteriormente, aterros controlados, como exemplo, Gramacho e de Gericino utilizados pela prefeitura para disposição final dos resíduos (Bastos 2015).

Segundo Souza (2007) e Figueiredo (2013), são inúmeras as dificuldades de administrar os resíduos sólidos no Brasil, onde os principais impactos e as discussões são em relação à saúde pública, problemas sociais, impacto ao meio ambiente e recursos financeiros disponíveis. As legislações

oferecem diretrizes para os planos de ação para determinar com segurança a nova ocupação de uma área contaminada, porém, segundo Picchi (2011) há a necessidade de estudos direcionados para as condições do solo e da água e de seus usos, além de analisar a condição das estruturas existentes na área e vizinhança.

O município de Curitiba possui três áreas consideradas como áreas de passivos ambientais provenientes da disposição de resíduos. A área da Lamenha Pequena que atuou no período de 1964 a 1989, a área de disposição de resíduos da Cidade Industrial de Curitiba (CIC), na localização da atual Vila Concórdia e que atuou entre 1982 e 1988, e a área da Vala séptica que funcionou entre 1988 e 2005. Dentre essas três áreas, a área de disposição de resíduos da CIC é a única que até o ano dessa pesquisa (2016) ainda contava com pessoas residindo sobre ela.

São necessários estudos para mapear os riscos aos quais a população que reside em áreas com disposição inadequada de resíduos está exposta. A falta de tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos pode implicar em problemas sanitários, ambientais e sociais, aumentando a proliferação de doenças, contaminação no solo, águas e poluição do ar (Dmitrijevas 2010).

O objetivo do presente estudo foi avaliar os riscos potenciais à saúde humana pela presença de metais em solo e água subterrânea em uma área com disposição inadequada de resíduos na Cidade Industrial de Curitiba (CIC).

MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento da área de estudo foi obtido do relatório de Investigação e Diagnóstico do Passivo Ambiental da Antiga Área de Disposição de resíduos na Cidade Industrial de Curitiba (CIC) de 2007, assim como os laudos analíticos de metais, realizados nessa mesma área e ano. Foram utilizadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo NBR 15515-1 (2011), ABNT 15515-2 (2011) e ABNT NBR 15515-3 (2013), além de metodologia utilizada por Picchi (2011) para estruturar e analisar as etapas de avaliação preliminar, confirmatória e detalhada.

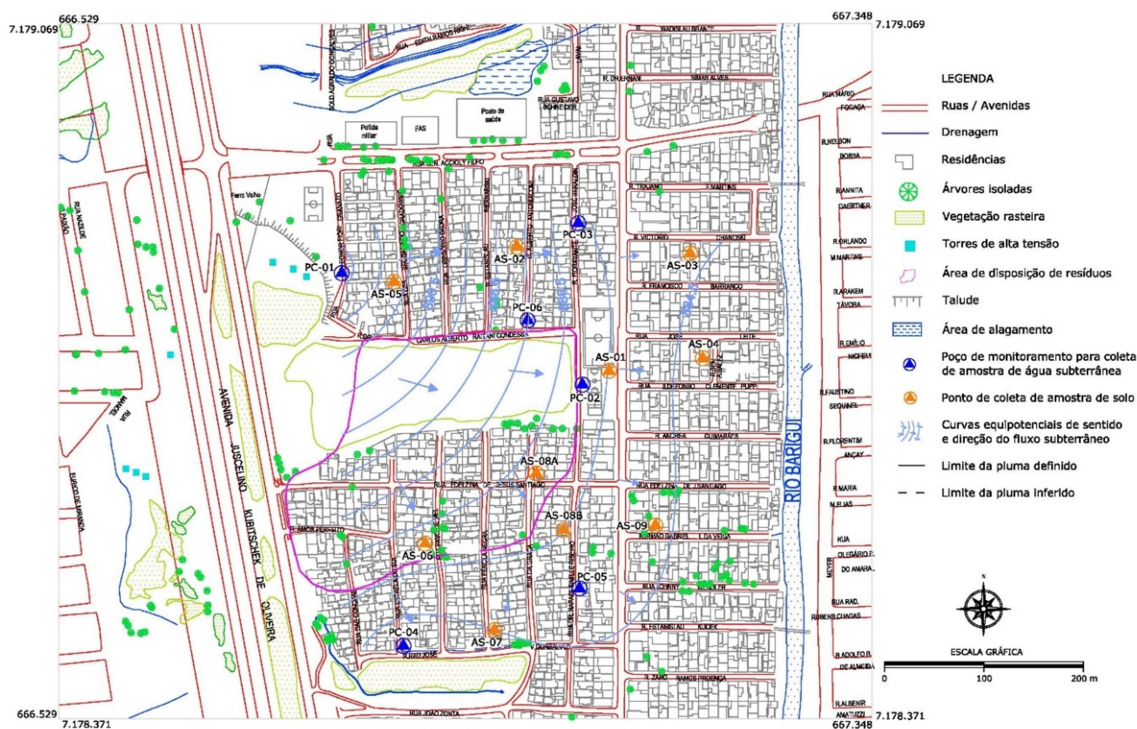
Os resultados dos laudos analíticos das concentrações de metais detectados na área em 2007, foram organizados e analisados com auxílio de planilhas e gráficos do programa Excel (versão 2013, sistema Windows 7).

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patricia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

A Figura 1 mostra a localização dos pontos amostrais no ano 2007. As amostras de solo foram identificadas como: AS-01, AS-02, AS-03, AS-04, AS-05, AS-06, AS-07, AS-08 e AS-09; e as amostras de água subterrânea com identificação de PC-01, PC-02, PC-03, PC-04 e PC-05.

Figura 1. Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de solo e água subterrânea na área de estudo



Fonte: Adaptado de Ecotécnica, (2007) e Geoambiente, (2009).

Os pontos amostrais foram posicionados com base na caracterização da geologia e do aquífero freático local (levantamentos planialtimétrico, geofísico, espectrometria de raio gama, sondagem geológica, condutividade hidráulica entre outros).

ANÁLISE DE RISCO PELO MÉTODO PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DA CETESB.

Para a avaliação de risco à saúde humana foram utilizadas as Planilhas de Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação, também chamadas de Planilhas CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), elaboradas pela Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007 da CETESB. Essa metodologia foi elaborada tomando como base a norma ASTM 204-01 *Guide for Risk Based Corrective Action at Chemical Release Sites* (RBCA) (CETESB 2007).

As planilhas de avaliação de risco disponibilizadas pela CETESB foram desenvolvidas utilizando as condições do estado de São Paulo, e foram utilizadas neste estudo para entrada de dados e quantificação de riscos e metas de remediação por mais se aproximarem à realidade brasileira quando comparada às planilhas referenciais de riscos de outros países. Essa metodologia utiliza a inserção de determinados dados da área avaliada de forma a representar as condições de exposição específicas de cada local. As planilhas desenvolvidas pela CETESB utilizam os recursos do programa Microsoft® Excel 2003 *Professional*, sendo a plataforma mínima necessária para a sua operação o Windows 98 e o Excel 97 ou posterior.

Essa metodologia utiliza a inserção de determinados dados da área avaliada de forma a representar às condições de exposição específicas de cada local, além de possuir uma maior variedade de opções de receptores (*default*) e vias de exposição ao comparar com outras metodologias utilizadas nacionalmente como o RISC 4 e RBCA *ToolKite*, e é o único que distingue receptores residentes em áreas urbanas e rurais e que possui vias de exposição relacionadas ao sedimento contaminado.

O risco tóxico é calculado com base na dose estimada e a dose de referência para os compostos cujos efeitos atingem o desenvolvimento, tamanho ou funcionamento de todo o organismo ou de órgãos específicos (inclusive a pele e o sistema nervoso central), mas que não levam ao desenvolvimento de células malignas.

Para análise do risco carcinogênico na avaliação é considerada a probabilidade incremental de um indivíduo desenvolver câncer ao longo da vida como resultado da exposição a um composto potencialmente cancerígeno.

Como resultados, se obtém as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs) definidas como concentrações máximas dos compostos de interesse, que nessa pesquisa foram consideradas as concentrações dos metais detectados nos laudos analíticos de 2007, para que a contaminação existente na área não apresente risco aos receptores considerados. Nessa pesquisa foi utilizado como escopo o cenário residencial urbano, considerando o modelo conceitual de exposição, as Substâncias Químicas de Interesse (SQIs) e os dados específicos utilizados no modelamento, para verificação da possibilidade de risco no cenário atual ou caso venha a ser modificado.

MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO

Foi utilizado o modelo conceitual de exposição apresentado pelas Planilhas de Avaliação de Risco CETESB (CETESB 2013). Para o estudo foi adotado o cenário atual de ocupação, no qual se

considerou como receptor o Residencial Urbano na área fonte (área de estudo). Na área de estudo há ocupação predominante residencial e poucas unidades comerciais; por essa razão, para a análise foi considerado o receptor residencial por ser mais restritivo aos limites de intervenção em relação ao comercial, com limites diferenciados para crianças e adultos. A planilha considera as vias de ingresso para solo subsuperficial e água subterrânea como:

- Inalação de Vapores: Para ambientes fechados e abertos. Nessa pesquisa foi considerada essa via por existir a presença de um metal volátil, que é o mercúrio (Hg). Todos os outros metais identificados na área de estudo não são voláteis e as vias de ingresso são dérmicas ou por ingestão;
- Contato Dérmico: a partir de água subterrânea e solo subsuperficial, caso haja escavações e contato direto com o solo. Nessa área de estudo grande parte das residências possui hortas e árvores frutíferas;
- Ingestão: Ingestão de água subterrânea e Ingestão de água a partir da lixiviação do solo. Nessa pesquisa foi considerada essa via como hipotética, porque durante as visitas técnicas não foi localizado o poço de captação de água subterrânea na área de estudo, apesar de constar no serviço geológico do Brasil (CPRM) o registro de um poço de captação de água com as coordenadas UTM 7178705 SM/667065 com profundidade de 234 m com data de instalação em 26/07/2010 (CPRM 2016).

SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS DE INTERESSE (SQIs)

As Substâncias Químicas de Interesse (SQI) utilizadas no estudo foram alumínio, antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, prata, selênio e zinco. Esta escolha se deu por causa da confirmação da presença dessas substâncias nas amostras de água subterrânea e solo subsuperficial no ano de 2007 estarem acima dos limites aceitáveis e permitidos pela legislação. Apesar dos valores analisados terem sido obtidos há 11 anos, Kabata-Pendias (2001) descreve que os metais são compostos inorgânicos e, diferente dos contaminantes orgânicos, não sofrem degradação química ou microbiana, permanecendo por mais tempo no solo. Corroborando para essa afirmação os estudos realizados por Celere et al. (2007) ao avaliarem se existia atenuação na concentração de metais em dois tanques de captação de chorume dentro do aterro sanitário de Ribeirão Preto: Módulo I – funcionamento de 1989 a 2000; Módulo II (2000 a 2007), considerando a diferença no tempo de vida dos módulos evidenciaram que os metais Cd, Cr, Cu, Hg, Pb e Zn não apresentam diferenças

estatisticamente significantes ($p > 0,05$). Ebong et al. (2014) também descreveram que as contaminações por metais, mesmo em baixas concentrações no solo, podem trazer danos à saúde humana quando a população é exposta a alimentos e águas contaminadas.

Os resultados analíticos dessas amostras de 2007 foram comparados com os valores de intervenção dos decretos e resoluções:

- Decreto nº1190 de 2004 da Prefeitura Municipal de Curitiba que estabelece parâmetros de referência para qualidade do solo e águas subterrâneas para o Município de Curitiba (Curitiba 2004);
- Resolução Conama nº420 de 2009 que dispõe sobre critérios para qualidade do solo e diretrizes para gerenciamento de áreas contaminadas; e
- CETESB nº045 de 2014, dispõe sobre os valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB 2014).

Conforme orienta a CETESB, essa pesquisa considera os valores de intervenção onde consistem nas análises das SQIs presentes no solo ou na água subterrânea que apresentam riscos potenciais diretos ou indiretos à saúde humana, em relação ao cenário de exposição considerado. As amostras de solo e de água subterrânea foram comparadas com os valores mais restritivos. O Decreto nº1190/2004 denomina as concentrações limites como: valor de intervenção residencial/área de proteção ambiental (APA) para solo e residencial/APA/Comercial/ Serviços para as amostras de água subterrânea. Esses mesmos limites são denominados na resolução CONAMA nº420/2009 e CETESB nº045/2014 como valor de intervenção de prevenção para solo e investigação/intervenção para água subterrânea.

As concentrações dos contaminantes no solo e nas águas subterrâneas são os principais fatores considerados neste estudo, sendo utilizadas as maiores concentrações das substâncias observadas acima do limite de detecção do laboratório, conforme informado nos laudos obtidos nos estudos realizados em 2007. Na investigação e diagnóstico do passivo ambiental, realizado em 2007, todas as amostras de solo foram coletadas entre 1 e 2,7 metros de profundidade, onde abaixo de 1 m a amostra era considerada subsuperficial. Portanto nessa pesquisa não foram coletadas amostras superficiais (< 1 m de profundidade).

ENTRADA DE DADOS DOS PARÂMETROS ESPECÍFICOS

Para os cenários associados ao contato direto com solo superficial foram utilizados os parâmetros físico-químicos do banco de dados da CETESB visto que as amostras de solo foram coletadas com profundidade superior a um metro.

A Investigação de áreas contaminadas descrita pela ABNT NBRs 15515-1,2 e 3 compara os resultados analíticos obtidos nas amostras de solo e água, com padrões de referência denominados valor de intervenção ou valor orientador. Quando as concentrações máximas aceitáveis (CMAs) são superadas, complementa-se a investigação com a avaliação de risco à saúde humana, conforme ABNT NBR 16209 (2013).

Os parâmetros específicos para transporte em meios saturados foram relacionados à migração das águas subterrâneas, que define o transporte de contaminantes no meio saturado, os dados referentes ao gradiente hidráulico, condutividade hidráulica, distância entre a fonte e o ponto de exposição residencial e a porosidade efetiva obtidos no relatório de investigação de passivos realizado em 2007. Os demais valores específicos foram utilizados dos bancos de dados das Planilhas CESTEB (CETESB 2007), que é o que mais se aproxima da realidade brasileira comparado com outros *softwares*.

Nos parâmetros específicos de ar para **Ambiente Aberto** foram relacionados às dimensões das edificações, utilizados os valores sugeridos na Planilha CETESB, atendendo dessa forma um padrão conservador, com exceção dos parâmetros profundidade do nível d'água e porosidade total. Para o **Ambiente Fechado** os parâmetros seguiram os valores de referência da Planilha de Avaliação de Risco da CETESB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

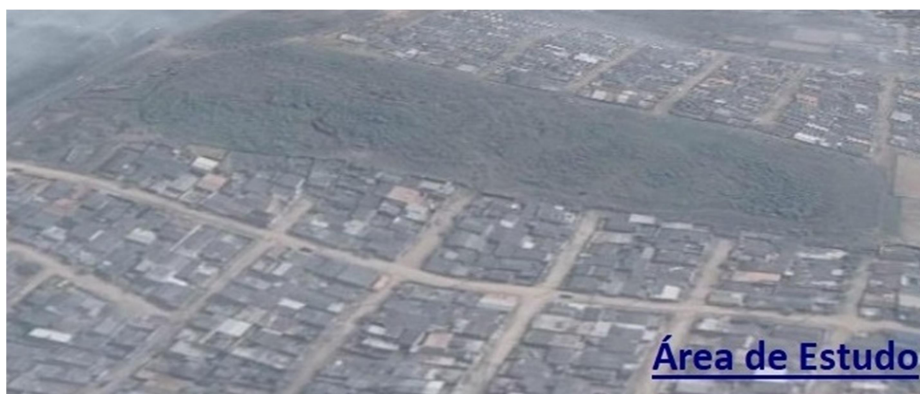
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS

As investigações preliminares, confirmatória e detalhada foram realizadas durante a investigação e diagnóstico do passivo ambiental da antiga área de disposição de resíduos no bairro CIC no ano de 2007. A Figura 2 mostra área de estudo do antigo lixão da CIC (1982 a 1988).

Figura 2. Delimitação da área de estudo do antigo lixão da CIC

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

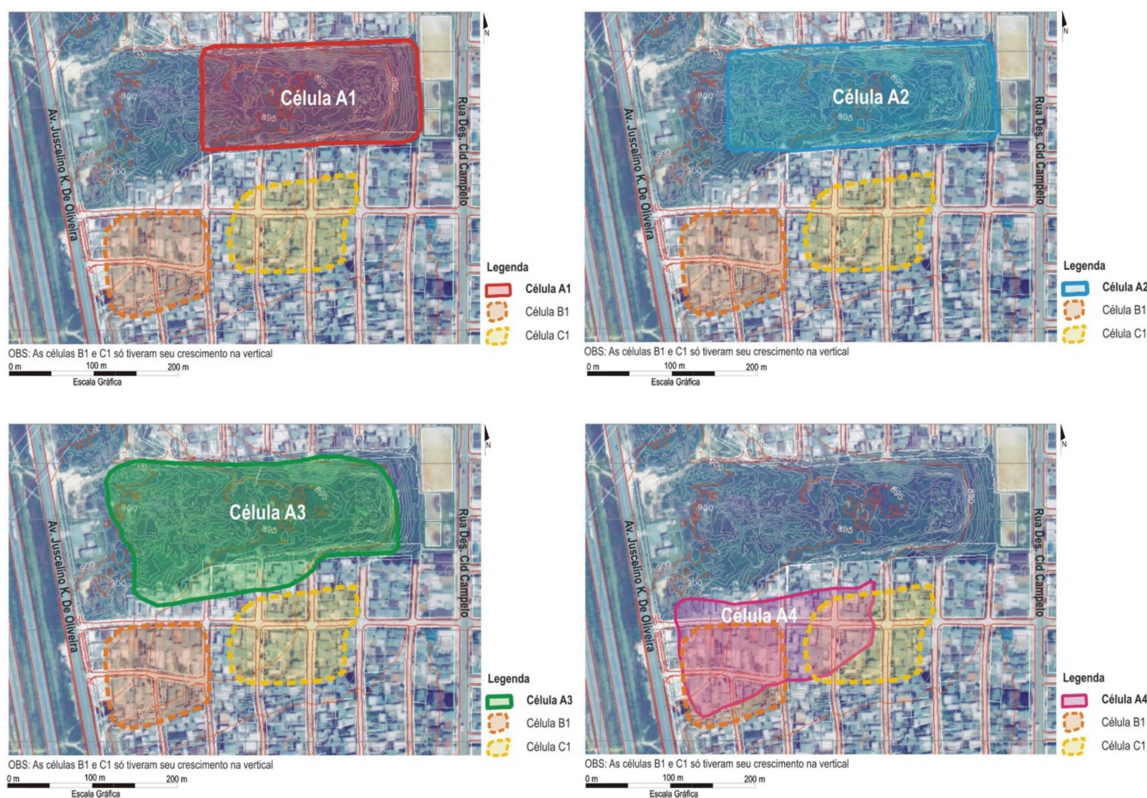
Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho



Fonte: ECOTECNICA 2007

Até 1990 ocorreu ocupação da área de entorno ao antigo lixão da CIC. Com o encerramento da destinação dos resíduos no ano de 1988, área foi ocupada por residências (área de estudo), deixando desocupada apenas as células maiores onde foi depositada a maior quantidade de resíduos. A Figura 3 mostra a localização e a evolução das células de disposição de resíduos na área de estudo.

Figura 3. Localização das células de disposição de resíduos na área de estudo



Fonte: ECOTECNICA, 2007

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Essa área teve três fases de deposição de resíduo, a fase A teve três células (Célula A1, A2, A3 e A4) que sucedeu por empilhamento da célula A1 até a A3 e por último a célula A4, que foi disposta lateralmente a célula A3. O histórico mostra que essas duas áreas compreenderam áreas de suprimento de material para a operação de deposição de resíduo e foram definidas como Fase B (célula B1) e Fase C (célula C1).

O uso e ocupação dessa área por si só evidenciam vários problemas aos quais a população estará exposta. Pesquisas realizadas em outras localidades que tiveram a disposição inadequada de resíduos (lixões) confirmaram a existência de risco para a população e ao meio ambiente (Lima et al. 1997; Braga et al. 2002, Trípoli 2004; Bigatão 2009; Beck et al. 2010; Silva; Liporone 2011; Hegel; Cornélio 2013).

A Tabela 1 apresenta as concentrações adotadas para as substâncias inorgânicas e as respectivas amostras nas quais essas foram observadas.

Tabela 1. Concentrações máximas de cada substância química de interesse adotada na avaliação de risco à saúde humana

SQI	Solo		Água Subterrânea	
	Concentração (mg/kg)	Identificação da amostra	Concentração (ug/L)	Identificação da amostra
Alumínio	37410,00	AS-04	251,20	PC-06
Antimônio	9,00	AS-06	0,86	PC-04
Arsênio	NA	NA	NA	NA
Bário	295,00	AS-07	309,10	PC-04
Cadmio	NA	NA	0,21	PC-03
Chumbo	36,00	AS-07	8,62	PC-01
Cobre	40,00	AS-03	12,20	PC-02
Cromo	28,00	AS-08	1,43	PC-02
Mercúrio	0,06	AS-03	NA	NA
Níquel	22,00	AS-05	90,90	PC-02
Prata	12,00	AS-03	NA	NA
Selênio	NA	NA	NA	NA
Zinco	99,00	AS-03	141,60	PC-04

Nota: NA - Não se Aplica; SQI - Substância Química de Interesse; AS – identificação de amostra de solo; PC – identificação de amostras de água subterrâneas (Ver localização dos pontos amostrais no mapa da Figura 1).

Alguns compostos apresentaram concentrações menores que o limite de detecção, portanto não foram considerados na análise de risco, uma vez que não foram detectadas concentrações dessas substâncias. O estudo dos metais pesados em diversas matrizes ambientais é considerado prioritário

nos programas de promoção da saúde em escala mundial, pois todas as formas de vida podem ser afetadas direta ou indiretamente por essas substâncias (Celere 2007).

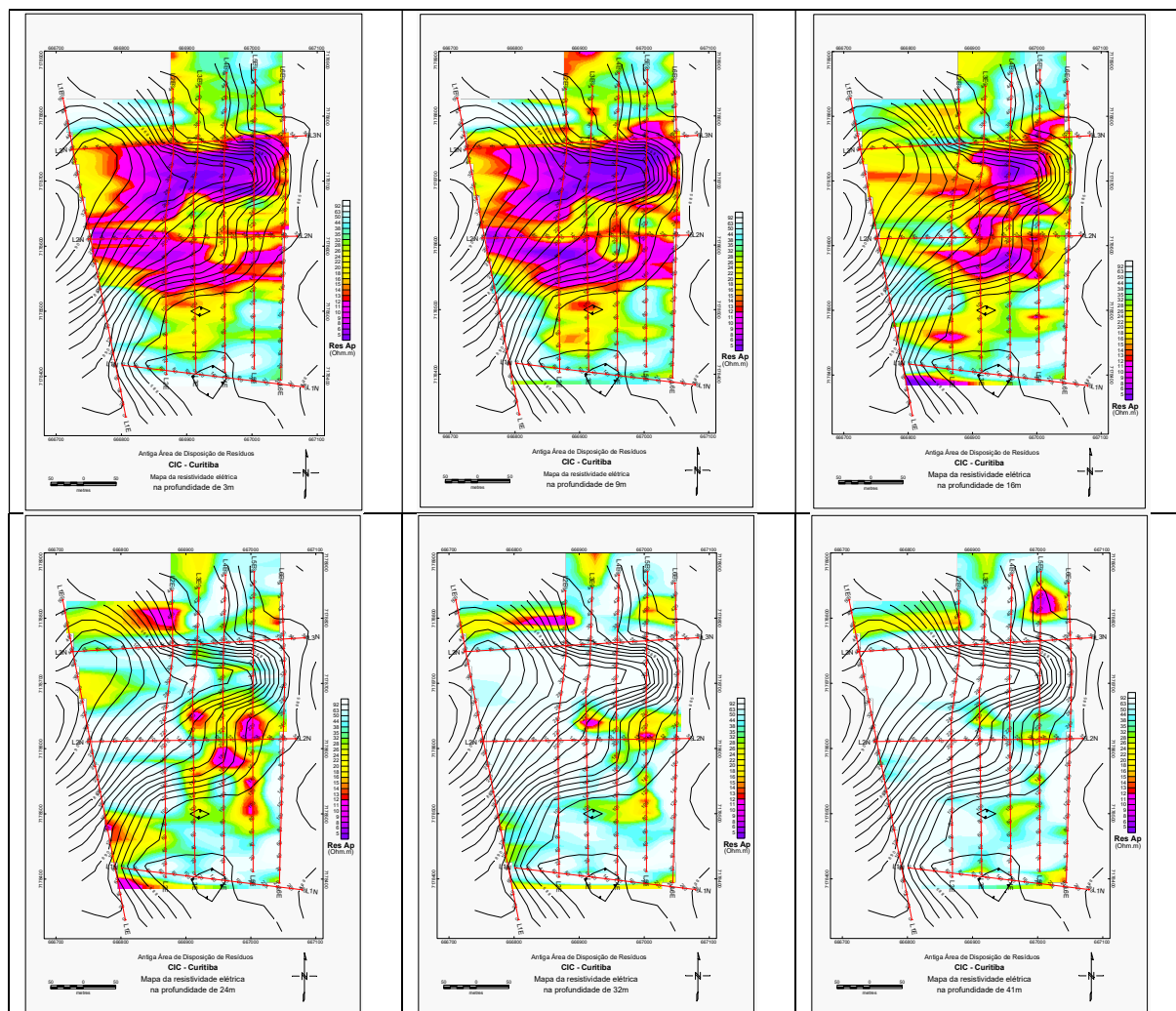
O conhecimento da ocorrência, reação e interação dos metais nos sistemas bióticos e abióticos é muito importante para se analisar o comportamento dessas substâncias e os seus efeitos sinérgicos (potenciação, sinérgico, antagônico e aditivo) (Azevedo & Chasin 2003). Segundo Vinhal-Freitas et al. (2010) a disponibilidade dos metais é determinada pelos parâmetros físicos, químicos e mineralógicos dos solos. A capacidade de trocas catiônicas, teor de matéria orgânica, pH, entre outros são parâmetros que influenciam as reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxidação que, por interação determinam a ocorrência dos elementos no solo. Se cada solo possui uma capacidade adsorptiva específica, compreender este atributo oferece subsídios para a previsão da ecotoxicidade e da possível contaminação do nível freático uma vez que, se essa capacidade for ultrapassada, o metal ficará potencialmente disponível para lixiviação (Vinhal-Freitas et al. 2010).

Em relação aos metais contaminantes identificados no antigo lixão da CIC (Tabela 1), a concentração caracteriza potencial efeito deletério. Beck et al. (2010) comprovaram que a qualidade da água subterrânea estava comprometida em razão da contaminação pelo lixiviado, no lixão da cidade de Passo Fundo/RS. Pesquisas têm mostrado que construir edificações sobre lixões constitui um risco por causa das modificações potenciais ao meio físico, alterações na topografia, instabilidade do terreno, modificação do fluxo e também por causa da qualidade de águas superficiais e subterrâneas. Compromete também a qualidade atmosférica, entre outros danos que podem ocorrer, como alterações da diversidade da flora e fauna e efeitos adversos sobre a saúde da população (Barros 2011; Silva & Liporone 2011). Na área de estudo do lixão da CIC foi identificado a presença de choroume foi comprovada por mapas de resistividade, os quais mostram áreas de distribuição de choroume em diversos intervalos de profundidade (3 até 41 metros) (Figura 3).

Figura 3. A Concentrações de choroume distribuídas na área de estudo do lixão da CIC na profundidade de 3 e 41 metros

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho



Fonte: ECOTECNICA 2007

Os mapas de resistividade (Figura 3A) mostram que a contaminação não se limita apenas às partes mais superficiais. Declives ao norte e ao sul do morro indicam baixa resistividade que se alonga até 41 metros. Gallas *et al.* (2005) relataram que as regiões com presença de contaminação possuem resistividade mais baixa, pois seu conteúdo iônico é aumentado. Na Figura 3, os tons de vermelho e violeta definem os depósitos de resíduos em dois: um na região mais elevada do relevo e o outro na região sul, em uma profundidade de 9 metros.

O choro exerce influência sobre as regiões hídricas superficiais próximas, e pode também transpassar o solo e alcançar águas mais profundas, o que compromete a qualidade e o uso da mesma (Sissinno & Moreira 1996).

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Hamada et al. (2002) relataram que até a década de 1990 não havia muitos trabalhos no Brasil se referindo aos efeitos gerados pelo lixiviado ou chorume, o qual se infiltra no solo, e sendo assim não era possível se determinar qualitativamente os efeitos desse líquido sobre o solo.

Contudo as pesquisas foram se ampliando e com os problemas ocorridos em diversas regiões brasileiras e o conhecimento gerado por outros países foi possível se constatar os impactos negativos que os lixões trazem para o meio ambiente e para a saúde da população (Santos 2005; Silva et al. 2012; Costa 2013). Kabata-Pendias (2001) confirmaram contaminação da água por carbonatos metálicos provenientes do lixiviado. Na Tabela 2 se pode observar as concentrações de metais nas amostras de solo e na Tabela 3 as concentrações de metais na água subterrânea, em comparação com as normativas supracitadas.

Tabela 3. Resultados analíticos das análises de amostras de solo realizadas em 2007 comparando-se com os valores de intervenção da Resolução CONAMA nº420/09, Decreto nº1190/04 e CETESB nº045/14 (adaptado de ECOTÉCNICA, 2007)

Parâmetros	Unid.	Amostras de Solo – ECOTÉCNICA (2007)									Valor de Intervenção - mg.kg ⁻¹		
		AS-01	AS-02	AS-03	AS-04	AS-05	AS-06	AS-07	AS-08	AS-09	DECRET O nº1.190/04	CONA MA nº420/09	CETESB nº045/14
											Residencial / APA	Prevenção	Prevenção
Alumínio	mg.kg ⁻¹	22964,0	23915,0	16126,0	37410,0**	20212,0	31778,0	30607,0	30830,0	31859,0	-	-	-
Antimônio	mg.kg ⁻¹	3,8*	2,9*	2,7*	4,4*	2,5*	9,0**	4,0*	4,1*	4,0*	10,0	2,0	2,0
Arsênio	mg.kg ⁻¹	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,5	<0,4	<0,5	<0,5	<0,3	50,0	15,0	15,0
Bário	mg.kg ⁻¹	138,0	72,0	93,0	195,0*	139,0	165,0*	295,0**	157,0	227,0*	400,0	150,0	120,0
Cádmio	mg.kg ⁻¹	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	<0,4	<0,5	<0,5	<0,3	15,0	1,3	1,30
Chumbo	mg.kg ⁻¹	12,0	14,0	15,0	12,0	6,2	4,2	36,0**	18,0	19,0	350,0	72,0	72,0
Cobre	mg.kg ⁻¹	23,0	13,0	40,0**	27,0	14,0	19,0	22,0	25,0	23,0	80,0	60,0	60,0
Cromo	mg.kg ⁻¹	16,0	15,0	15,0	26,0	16,0	13,0	16,0	28,0**	26,0	700,0	750,0	75,0
Mercúrio	mg.kg ⁻¹	<0,014	<0,031	0,06**	0,06	<0,021	<0,019	<0,026	<0,031	<0,06	5,0	0,5	0,5
Níquel	mg.kg ⁻¹	14,0	10,0	10,0	16,0	22,0**	18,0	16,0	15,0	19,0	200,0	30,0	30,0
Prata	mg.kg ⁻¹	<0,4	<0,4	12,0**	<0,4	<0,4	<0,4	<0,05	<0,5	<0,03	50,0	2,0	2,0
Selênio	mg.kg ⁻¹	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,04	<0,05	<0,5	<0,03	1,0	5,0	1,2
Zinco	mg.kg ⁻¹	33,0	21,0	99,0**	22,0	29,0	56,0	48,0	28,0	52,0	1000,0	300,0	86,0

Nota. (-): Valor não estabelecido pela normativa; (Unid.): Unidade; (<): Menor que. (AS-XX): Identificação da amostra de solo; * encontram-se acima do valor de Prevenção da Resolução CONAMA nº420/2009 e da CESTEB nº045/2014; ** Valores destacados em amarelo representam as maiores concentrações para cada composto, utilizados na avaliação de risco à saúde humana pelas Planilhas CETESB.

Tabela 3.1. Resultados analíticos das análises de amostras de água subterrânea realizadas em 2007 comparando-se com os valores de intervenção da Resolução CONAMA nº420/09, Decreto nº1190/04 e CETESB nº045/14 (adaptado de ECOTÉCNICA, 2007)

Parâmetro	Unidade	Amostras de Água Subterrânea – ECOTÉCNICA (2007)	Valor de intervenção µg.L ⁻¹
-----------	---------	--	---

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

		PC-01	PC-02	PC-03	PC-04	PC-05	PC-06	DECRETO n°1.190/04	CONAMA n°420/09	CETESB n°045/14
								Residencial/ APA/Comercial / Serviços	Investigação	Intervenção
Alumínio	µg.L ⁻¹	21,60	168,20	3,500	59,00	48,30	251,20**	200,00	3500,00	-
Antimônio	µg.L ⁻¹	<0,1	0,45	0,005	0,86**	<0,1	<0,1	5,00	5,00	5,00
Arsênio	µg.L ⁻¹	<0,1	<0,1	0,010	<0,1	<0,1	<0,1	10,00	10,00	10,00
Bário	µg.L ⁻¹	45,80	2,91	0,700	309,10**	57,00	72,50	625,00	700,00	700,00
Cadmio	µg.L ⁻¹	0,20	0,14	0,005**	<0,1	0,16	0,11	5,00	5,00	5,00
Chumbo	µg.L ⁻¹	8,62**	4,91	0,010	3,92	<0,5	<0,5	10,00	10,00	10,00
Cobre	µg.L ⁻¹	<0,1	12,20**	2,000	4,27	1,20	0,54	30,00	2000,00	2000,00
Cromo	µg.L ⁻¹	<0,1	1,43**	0,050	<0,1	<0,1	1,50	30,00	50,00	50,00
Mercúrio	µg.L ⁻¹	<0,1	<0,1	0,001	<0,1	<0,1	<0,1	0,30	1,00	1,00
Níquel	µg.L ⁻¹	<0,1	90,90**	0,020	<0,1	<0,1	9,95	50,00	20,00	70,00
Prata	µg.L ⁻¹	<0,1	<0,1	0,050	<0,1	<0,5	<0,5	50,00	50,00	50,00
Selênio	µg.L ⁻¹	<0,5	<0,5	0,010	<0,5	<0,5	<0,5	10,00	10,00	10,00
Zinco	µg.L ⁻¹	<0,1	32,50	1,050	141,60**	20,70	20,80	800,00	1050,00	1800,00

Nota. (-): Não se Aplica; (<): Menor que; (PC-XX): Identificação da amostra de água subterrânea; *Valores acima do valor de Prevenção da Resolução CONAMA n°420/2009 e da CESTEB n°045/2014; ** Valores as maiores concentrações para cada composto, utilizados na avaliação de risco à saúde humana pelas Planilhas CETESB.

Com os resultados dos laudos analíticos das amostras de solo e água subterrânea coletadas na área de estudo em 2007, constatou-se que as concentrações de antimônio, bário e prata para solo estavam acima do valor de intervenção para o receptor prevenção da Resolução CONAMA n°420 de 2009 e CETESB n°045 DE 2014. As amostras de solo foram comparadas com o receptor prevenção por ser mais restritivo.

Quando comparadas as amostras de solo com o decreto n°1190 de 2004 da Prefeitura de Curitiba, nenhuma amostra apresentou concentrações acima do valor de intervenção. Isso não significa que não há risco à saúde da população. Santos et al. (2008) e Ebong et al. (2014) relatam que concentrações baixas de metais no solo podem trazer danos à saúde humana.

O mercúrio foi utilizado para as análises de risco à saúde por ter sido identificado nas amostras de solo, ser o único metal volátil em temperatura ambiente e o processo de biometilação pode potencializar a ecotoxicidade do mercúrio facilitando a absorção pelos organismos (Azevedo & Chasin 2003; Sanchez 2006).

Nascimento e Chasin (2001) e Teves (2001) relatam que locais onde há concentrações de resíduos associados às atividades industriais e descarte de lixo aumentam-se os níveis de mercúrio na água e na atmosfera e de metilmercúrio em sedimentos de rios. Estudos realizados na Nigéria comprovaram a presença de altos índices de metais pesados em solo, principalmente em épocas secas, modificando o pH e a matéria orgânica nos solos estudados. O estudo também indicou que os metais

pesados nas áreas contaminadas possuem um grande potencial de serem absorvidos pelas plantas, além da toxicidade presente no solo e a ameaça à saúde humana (Ebong et al. 2014).

Nessa pesquisa as amostras de água subterrânea apresentaram concentrações de níquel acima do valor de intervenção das normativas do decreto nº1190 de 2004, resolução CONAMA nº 420 de 2009 e da CETESB nº045 de 2014. Azevedo e Chasun (2003), Silva et al. (2008) relatam que os principais danos à saúde humana causados pelo níquel são cânceres, porque a bioacumulação no organismo atua direto na mutação genética.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) estabelece o encerramento dos lixões e essas áreas devem ter acesso controlado, a população não pode retirar os resíduos depositados, assim como deve fazer drenagem pluvial, cobertura com solo e vegetação. Quando houver populações e edificações deve-se fazer a realocação (MMA 2015). De acordo com Silveira e Oliveira (2016), a disposição inadequada de resíduos em áreas irregulares vem contribuindo com o aumento dos processos de erosão dos solos, aceleração do assoreamento de corpos hídricos, diminuição da biodiversidade local e ainda provoca problemas de saúde pública por meio da contaminação por agentes químicos e biológicos (Hentz et al. 2013).

A lei 9.605/98 já determinava que é crime ambiental poluir o meio ambiente pela disposição inadequada de resíduos. Segundo Souza (2007) as discussões sobre os efeitos danosos sobre a saúde pública, os impactos ambientais e a disponibilidade de recursos financeiros dificultam a gestão adequada dos resíduos sólidos no Brasil. Oliveira e Morais (2014) explicam que, nos países em desenvolvimento como o Brasil, a existência de leis de proteção não reflete na elaboração de cidades ambientalmente planejadas, onde é comum a expansão desordenada do espaço urbano, comprometendo assim, a segurança e a qualidade de vida da população.

ANÁLISE DE RISCO PELO MÉTODO PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DA CETESB

As concentrações dos contaminantes no solo e águas subterrâneas são utilizadas nesse estudo para o cálculo das doses de ingresso e conseqüentemente para o cálculo dos riscos não carcinogênicos (riscos tóxicos) e carcinogênicos para a população.

Conforme as normativas NBR 15515-1 (2011), NBR 15515-2 (2011) e NBR 15515-3 (2013) de investigação de áreas contaminadas, a análise de risco é realizada somente para os compostos que apresentam concentrações acima do valor de intervenção aceito pelo órgão ambiental competente.

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Porém, foram inseridos todos os compostos investigado na área, e não somente os que superaram os valores de intervenção.

Para o cenário atual, receptor residencial/urbano na área fonte (área de estudo), a modelagem indicou a existência de risco potencial à saúde humana para as vias de exposição contato dérmico e ingestão de água subterrânea. Vale ressaltar que para uma via de exposição se complete é necessário que tenha uma fonte, uma rota de transporte e um ponto de exposição. Na Tabela 4 podem-se observar os compostos e as vias de ingresso que indicaram risco à saúde humana pelo método Planilhas CETESB.

Tabela 4. Metais que apresentaram risco à saúde humana pelas planilhas CETESB

Meio	Vias de ingresso	Criança		Adulto		
		Ponto de exposição/ fonte	de Área	Fora da fonte de contaminação	Ponto de exposição/ fonte	de Área
Solo	Ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo	Alumínio, Antimônio, Bário e Prata		Antimônio, Bário e Prata	Antimônio, Bário e Prata	Antimônio e Prata
	Inalação de vapores em ambiente fechado	Mercurio		*	Mercurio	*
Água Subterrânea	Contato dérmico e ingestão de água subterrânea	Alumínio, Antimônio, Bário, Cadmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco		Alumínio, Antimônio, Bário, Cadmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco	Alumínio, Antimônio, Bário, Cadmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco	Alumínio, Antimônio, Bário, Cadmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco

Nota. (*): Não apresentou risco para nenhum dos compostos considerados

As planilhas indicaram risco não carcinogênico para todos os compostos, que é o risco tóxico, que foi calculado de acordo com a dose estimada e a dose de referência para os compostos que os efeitos podem atingir o desenvolvimento, tamanho ou até mesmo o funcionamento de todo o organismo ou pele, sistema nervoso, entre outros órgãos específicos. Com isso, nenhuma substância apresentou risco carcinogênico, que é a probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer com a exposição ao longo da vida.

É importante ressaltar que o risco identificado é um risco potencial, visto que as vias supracitadas não se completam no atual cenário, uma vez que não existem poços de captação de água subterrânea ou outro meio que permita o contato direto ou a ingestão de água subterrânea da população com o meio contaminado.

O mercúrio apresenta risco para a via inalação de vapores em ambiente fechado para solo, porém, essa concentração foi obtida para solo subsuperficial, solo na profundidade superior à 1 metro.

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Portanto, essa via atualmente não se completa. Nesse estudo foi considerada a via de exposição para solo superficial pois todas as amostras de solo foram coletadas a mais de um metro de profundidade.

No Brasil, Pinheiro et al. (2000) realizaram uma avaliação da presença de mercúrio em comunidades ribeirinhas no Pará, usando fios de cabelo como indicador biológico de exposição, e nessas amostras foram encontradas concentrações de até $71,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio, ou seja, valores 7 vezes superior ao permitido pela Organização Mundial de Saúde (WHO 2011), que seria de $10 \mu\text{g.g}^{-1}$. Essa intoxicação foi gerada por meio da ingestão de frutos do mar contaminados por mercúrio. Sabe-se que os metais mais perigosos são mercúrio, chumbo, estanho e cádmio (Azevedo & Chasin 2003). Com exceção do estanho, os outros metais foram identificados nas amostras de solo e água subterrânea. Em relação ao mercúrio, os microrganismos no solo e na camada superior do sedimento transformam Hg^{+2} em cloreto de monometilmercúrio. Esse composto é lipofílico e se acumula na biota. O processo de bioacumulação pode ocorrer pela exposição a sedimentos, água ou alimento (transferência trófica). No antigo lixão da CIC a população tem hortas e árvores frutíferas, favorecendo o processo de bioacumulação.

Para o solo, antimônio, bário e prata apresentaram concentrações acima do valor de intervenção, e alumínio, antimônio, bário, prata e mercúrio indicaram risco. Quando considerados, a água subterrânea, alumínio e níquel superaram os valores de intervenção e os metais que indicaram risco foram o alumínio, antimônio, bário, cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco (Resolução CONAMA nº420/09, Decreto nº1190/04 e CETESB nº045/14) com os que apresentaram risco potencial à saúde humana pelo método planilhas CETESB.

Os valores de intervenção (VI) são as concentrações de cada substância presentes no solo e águas subterrâneas que possam causar riscos potenciais, diretos ou indiretos à saúde humana, considerando-se um cenário genérico de exposição. Os valores de intervenção definidos para solo foram derivados da Planilha CETESB de avaliação de risco à saúde humana, versão maio de 2013, conforme estabelecido na Diretoria no 103/2007/C/E de 22 de junho de 2007 (CETESB 2007).

Como se pode observar, os valores de água subterrânea da CETESB se baseiam na Portaria nº 2914/2011 (potabilidade), que por sua vez se baseia na Organização Mundial de Saúde (WHO 2011). A portaria possui várias tabelas, porém somente uma se baseia em risco, tanto que a própria revisão da normativa da CETESB nº045 de 2014 retirou os valores de intervenção para os compostos alumínio, ferro e manganês, que na portaria são valores com base em critérios organolépticos (cor, odor, sabor) e não em termos de risco à saúde humana.

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Foi realizada a comparação entre os compostos que apresentaram concentrações acima do valor de intervenção da normativa. Com isso, algumas substâncias, quando inseridas na avaliação de risco, ficam mais restritivas, até mesmo para a via ingestão. Na Tabela 5 pode-se observar a comparação para os compostos alumínio e níquel, em que as CMAs para a via ingestão de água subterrânea são as mais restritivas se comparadas com as CMAs para contato dérmico e até mesmo das normativas do Decreto nº1190/04, CONAMA nº420/09 e CETESB nº045/14.

Tabela 5. Comparação com os compostos que apresentaram concentrações acima do valor de intervenção das normativas Decreto nº1190/04, CONAMA nº420/09 e CETESB nº045/14 em relação às Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs) definidas para a área pelas Planilhas CETESB para as vias de contato dérmico e ingestão de água subterrânea para o receptor Criança

Água Subterrânea								
Parâmetros	Concentração Máxima	CMAs – Criança				DECRETO nº1.190/04	CONAMA nº420/09	CETESB nº045/14
		POE – Contato Dérmico		POE - Ingestão				
		Criança	Adulto	Criança	Adulto			
Alumínio	251,20	1640,00	1760,00	15,60	36,50	200,00	3500,00	-
Níquel	90,90	6,54	7,04	0,313	0,730	50,00	20,00	70,00

Nota. (CMA): Concentrações Máximas Aceitáveis; (POE): Ponto de exposição/área fonte.

Na Tabela 6 pode-se observar a comparação para os compostos antimônio, bário e prata, em que as CMAs para a via ingestão de água subterrânea tendem a ser mais restritivas comparadas com outras normativas.

Tabela 6. Comparação com os compostos que apresentaram concentrações acima do valor de intervenção das normativas Decreto nº1190/04, CONAMA nº420/09 e CETESB nº045/14 em relação às Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs) definidas para a área pelas Planilhas CETESB para a via de ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo para o receptor criança e adulto

Solo								
Parâmetros	Concentração Máxima	CMAs				DECRETO nº1.190/04	CONAMA nº420/09	CETESB nº045/14
		POE – Ingestão de água subterrânea		FPOE – Lixiviação p/ água subterrânea				
		Criança	Adulto	Criança	Adulto			
Antimônio	9,00	0,366	0,820	8,54	1,91	10,00	2,00	2,00
Bário	295,00	85,70	200,00	263,00	614,00	400,00	150,00	120,00
Prata	12	0,06	0,13	0,17	0,41	50,00	2,00	2,00

Nota. (CMA): Concentrações Máximas Aceitáveis; (POE): Ponto de exposição/área fonte; (FPOE): Fora da fonte de contaminação.

O que se pode observar é que os valores de intervenção são menos restritivos que os valores definidos na análise de risco à saúde humana, pois a análise de risco é realizada somente para os compostos que superam os valores de intervenção considerados. Para esses parâmetros é realizada a

análise de risco definindo o novo limite para a área em relação àquele composto. Portanto, se nenhum composto superar os valores de intervenção aceitos pelo órgão ambiental competente, não é necessário realizar a análise de risco à saúde humana.

Os compostos que indicaram risco potencial à saúde humana para a via de exposição Ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo no ponto de exposição e fora da fonte de contaminação foram o Alumínio, Antimônio, Bário e Prata. Isso ocorre porque as concentrações máximas aceitáveis (CMAs) para Criança são inferiores em comparação com as CMAs para adultos, pois a modelagem leva em consideração a massa corpórea que será contaminada. Chary et al. (2008) e Kabata-Pendias (2001) afirmam que dentre os principais fatores de preocupação com os metais encontram-se a toxicidade e a presença da população na área potencialmente contaminada, onde as crianças estão mais susceptíveis aos efeitos dos metais devido ao seu rápido metabolismo.

Para a via de exposição inalação de vapores em ambiente aberto e fechado, somente o composto mercúrio superou as CMAs tanto para criança como para adultos na área fonte. Na área fora da fonte de contaminação o método utilizado não indicou risco potencial à saúde humana, pois é altamente tóxica ao ser humano a volatilização e precipitação do mercúrio, onde doses de 3 a 30g de mercúrio são fatais, pois causam efeitos acumulativos além de provocar lesões cerebrais e envenenamento no sistema nervoso central e serem teratogênicos (Azevedo & Chasun 2003; Silva et al. 2008).

Vale ressaltar que apesar de terem sido observados traços de mercúrio no solo, tais concentrações não foram encontradas nas amostras de água subterrânea. Para água subterrânea as vias de exposição contato dérmico e ingestão de água subterrânea que apresentaram risco potencial à saúde humana foram para os compostos Alumínio, Antimônio, Bário, Cadmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco tanto para criança como para adulto na área fonte e na área fora da fonte de contaminação.

Tanto para a via contato dérmico como a via ingestão de água subterrânea, todos os compostos apresentaram concentrações acima das CMAs para ao menos um ponto, caracterizando a via como risco potencial, visto que na área de estudo não foram identificados poços de captação de água subterrânea.

CONCLUSÕES

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Os riscos à saúde humana e impactos negativos sobre o meio ambiente associados à disposição inadequada dos resíduos sólidos (lixões) têm direcionado muitas pesquisas nacionais e internacionais. É importante compreender os efeitos adversos das substâncias liberadas no meio ambiente, sua interação e as vias de ingresso nos organismos vivos, assim como a utilização de normas orientadoras que propiciem uma avaliação mais precisa dos danos e efeitos ecotoxicológicos.

No entanto, ao inserir os valores de mercúrio na planilha CETESB se constatou risco potencial a via de inalação de vapores em ambientes fechados. Isso ocorre porque a planilha CETESB relaciona a concentração da substância química de interesse (SQI) com o tempo de exposição e a sensibilidade do receptor. Crianças serão mais sensíveis à mesma concentração de uma SQI do que um adulto, no mesmo intervalo de tempo de exposição, por causa da massa corpórea menor.

Conclui-se que a análise de risco à saúde humana deveria ser realizada com todos os compostos detectados nos locais onde a investigação de área contaminada confirmar a presença de substâncias com potencial tóxico, mesmo que esses estejam dentro dos limites aceitáveis. Como a planilha CETESB é de livre acesso não oneraria os custos de análises.

Vale ressaltar que os estudos ambientais possuem incertezas que são minimizadas por meio do controle das informações e do conhecimento de todas as possíveis variáveis. Nesse estudo as fontes de incertezas observadas estão associadas aos modelos matemáticos que dificilmente conseguem considerar todos os fenômenos que ocorreram na natureza, relacionando o transporte e transformação dos contaminantes no ambiente, e também estão relacionadas com a quantificação dos riscos a um determinado receptor exposto a diversos contaminantes que não considera a compatibilidade ou incompatibilidade entre os compostos, assumindo que o metabolismo e o mecanismo de ação dos compostos sejam semelhantes e a falta de referências bibliográficas concisas para as planilhas CETESB, visto que a metodologia é utilizada mais para trabalhos técnicos e dificilmente as empresas irão querer divulgar que suas áreas estão contaminadas.

Como proposição para trabalhos futuros, sugere-se coleta de novas amostras de água e solo na região pesquisada para evidenciar o comportamento das substâncias detectadas em 2007 e verificação de possíveis atenuações naturais da toxicidade ou potenciação das mesmas, visto que nesse trabalho utilizou-se um banco de dados de 2007, porém os metais são compostos inorgânicos e tendem a permanecer nas áreas que são depositados, onde uma parte pode ser solubilizada pelo chorume ácido e uma parte permanece no local de deposição.

REFERÊNCIAS

- ABNT 2011. Passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 1: Avaliação preliminar. Norma técnica 15515-1 de abril de 2011.
- ABNT 2011. Passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 2: investigação detalhada. Norma técnica 15515-2 de abril de 2011.
- ABNT 2013. Passivo ambiental em solo e água subterrânea - parte 3: investigação confirmatória. Norma técnica 15515-3 de outubro de 2013.
- Abrelpe 2015. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo – SP, 2014. Cited 2015 Set 17. Available from: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>.
- Azevedo FA, Chasin AAM 2003. As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia. São Carlos: RiMa, 342p.
- Barros LHS 2011. Requalificação dos Aterros Desativados (Brownfields) no Município de São Paulo: Parques (Greenfields) Raposo Tavares e Jardim Primavera, Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 350pp.
- Bastos VP 2015. O fim do lixão de Gramacho: além do risco ambiental. O Social em Questão. VIII(33):265-288.
- Beck MH, Korf EP, Santos VR, Thomé A, Escosteguy PAV 2010. Monitoramento das Águas Subterrâneas e Lixiviado do Local de Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Passo Fundo – RS. REGA, 7(1):29-44.
- Bigatão DAR 2009. Cuidados e Destinação Final de Embalagens, na Utilização de Agrotóxicos por Produtos Rurais no Município de Itaporã – MS. Dissertação (Mestrado), UNB, Brasília – DF, 84p.
- Braga B, Hespanhol I, Conejo JGL, Barros MTL, Spencer M, Porto M, Nucci N, Juliano N, Eiger S 2002. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall, v. 1, 305p.
- Celere MS, Oliveira AS, Trevilato TMB, Segura-Muñoz SI 2007. 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, 23(4):939-947.
- Cetesb 2007. Procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. Decisão de diretoria nº 103/2007/C/E de 22 de junho de 2007.
- Cetesb 2013. Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas. Capítulo IX – (9000) Avaliação de Risco à Saúde Humana.
- Cetesb 2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014.
- Chary NS, Kamala CT, Raj DSS 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grow on sewage irrigated soils and food chain transfer. Ecotoxicol Environ Saf, ISSN 0147-6513, 69:3, 51324p.

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Conama 2009. Resolução CONAMA n° 420 de 28 de dezembro de 2009.

Costa JR 2013. Os contaminantes do solo na cidade de São Paulo: O caso do Shopping Center Norte. Encontro de Geógrafos da América Latina. Perú.

CPRM 2016 – Serviço Geológico do Brasil. Pesquisa Área. Cited 2016 Jan 03. Available from: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_coordenada.php.

Curitiba 2004. Decreto municipal de Curitiba/PR. Ficam definidos no município de Curitiba, os parâmetros de referência para qualidade de solo e água subterrânea. Decreto n°1190 de novembro de 2004.

Dmitrijevas C 2010. Análise de Ecoeficiência de Técnicas para tratamentos de disposição final de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEAN) Autarquia associada a Universidade de São Paulo, 131p.

Ebong GA, Offiong OE, Ekpo BO 2014. Seasonal variations in trace metal levels, speciation and physicochemical determinants of metal availability in dumpsite soils within Akwa Ibom State, Nigeria. *Chem Ecol*, ISSN: 1029-0370, 30:403-417.

ECOTÉCNICA 2007 – TECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA. Investigação e Diagnóstico do Passivo Ambiental da Antiga Área de Disposição de Resíduos Bairro CIC – Município de Curitiba – Paraná. Curitiba – PR.

Figueiredo FF 2013. Gestão dos Resíduos Sólidos no Brasil e seus Rebatimentos em Natal, Brasil. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, 12(2):145-152.

Hamada J, Calças DANQP, Giacheti HL 2002. Escoamento de chorume de aterros sanitários em solos arenosos compactados. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún – México.

Hegel CGZ, Cornélio PFO 2013. Resíduos Sólidos Urbanos: Depósitos irregulares no Município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. *R. Gest. Sust. Ambient*, 2(1):5-19.

Hentz AMK, Pasa DL, Weiss R, Ferreira ARC, Filho Mello JÁ 2013. Uso e ocupação das áreas de preservação permanente da Microbacia Hidrográfica Arroio Cinamomo em Roque Gonzales – RS. In: *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR.

IBGE 2010. Estado Paraná. Censo 2010. Cited 2014 Nov 25. Available from: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pr>.

Kabata-Pendias A, Pendias H 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3 ed. Florida. p. 432.

Lima MC, Damião JJ, Wernersbach L, Anjos LA 1997. Características nutricionais e fatores de risco para doenças cardiovasculares em coletores de lixo domiciliar no Município do Rio de Janeiro. 1° Congresso Brasileiro de Atividade Física e Saúde e 7° Simpósio de Pesquisa em Educação Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 122p.

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Lopes L 2006. Gestão e Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos: Alternativas para pequenos municípios. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP. 110p.

MMA 2015. Ministério do Meio Ambiente. Linha do Tempo. Brasília – DF. Cited 2015 Jun 21. Available from: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/linha-do-tempo>. Acesso em 21 de junho de 2015.

Nascimento ES, Chasin AM 2001. Ecotoxicologia do mercúrio e seus compostos. Salvador: CRA, 176p.

Oliveira AR, Moraes MEB 2014. Análise Do Potencial À Expansão Urbana Da Bacia Hidrográfica Do Rio Almada (Bahia). **Caminhos de Geografia**. 15(49):14-26.

Picchi AR 2011. Caracterização e Remediação de Passivos Ambientais em Empreendimentos Energéticos. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo –SP, 332p.

Pinheiro MCN, Guimarães GA, Nakanishi J, Oikawa T, Vieira JL, Quaresma M, Cardoso B, Amoras W 2000. Avaliação da contaminação mercurial mediante análise do teor de Hg total em amostras de cabelo em comunidades ribeirinhas do Tapajós, Pará, Brasil. *Rev Soc Bras Med Trop*, ISSN 1678-9849, 181-184 p.

Santos FM 2005. Aplicação de Métodos Geofísicos no Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas no Lixão de Cuiabá – MT. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso Instituto de Ciências Exatas e da Terra Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, 88p.

Santos GO, Riotta RM 2008. Possíveis impactos sobre o ambiente e a saúde humana decorrentes dos lixões inativos de Fortaleza (CE). *Rev Saud Amb / Health Environ J*. 9(2):55-62.

Silva BD, Oliveira FC, Martins DL 2008. Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil. Cited 2015 Jun 21. Available from: http://wiki.nosdigitais.teia.org.br/images/9/98/Lixo_eletronico_no_brasil_2008.pdf.

Silva C, Schoenhals M, Corneli VM, Arantes EJ 2012. Diagnóstico da contaminação do solo e aplicação do índice de qualidade de aterros de resíduos da CETESB na área de disposição de resíduos sólidos de Peabirú – PR. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*. 9(2):252-270.

Silva CB, Liporone F 2011. Deposição irregular de resíduos sólidos domésticos em Uberlândia: Algumas considerações. *Observatorium: Rev Eletr Geo*, ISSN-L: 1984-4891. 2(6)22-35.

Silveira RP, Oliveira VPS 2016. Identificação dos impactos ambientais da ocupação irregular nas Áreas de Preservação Permanente (APP) da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**.10(1):179-200.

Souza CM 2007. Recuperação degradada em Aterros Sanitários. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Florestas. Seropédica, RJ. 40p.

Trípoli R 2004. Aula magna do curso de Engenharia Ambiental. *Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia*, Espírito Santo do Pinhal. 1(1):1-8.

Avaliação Dos Potenciais Riscos À Saúde Humana Pela Presença De Metais No Solo E Água Subterrânea Por Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Na Cidade Industrial De Curitiba (Cic)

Ellen Mayara Sottoriva, Patrícia Raquel da Silva Sottoriva, Priscila Rodrigues Gomes, Eliane Carvalho de Vasconcelos, Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

WHO 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, Geneva, Switzerland, 518p.

Evaluation of Potential Risks to Human Health by the Presence of Metals in Soil and Groundwater due to Inadequate Disposal of Solid Waste in the Industrial City of Curitiba (Cic)

ABSTRACT

The world population has increased considerably, with high consumption and production rates resulting in a 25% waste generation over the last 10 years. Only in Brazil about 76 million tons of solid waste were generated in 2013, where 28 million tons were sent to dumps. This study evaluated potential risks to human health due to the presence of metals in soil and groundwater in an area with inadequate waste disposal in the Industrial City of Curitiba, State of Paraná. For the health risk assessment methodology we used the risk evaluation in contaminated areas under investigation, also called CETESB Spreadsheets. The modeling indicated there is potential health risks for different exposure scenarios such as inhalation of vapors in closed environment, dermal contact and groundwater ingestion.

Key words: Solid waste. Contaminated Areas. Chemical substances.

Submissão: 10/10/2018

Aceite: 12/12/2019