



AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS E BTEX DE UMA ÁREA CONTAMINADA POR RESÍDUOS DA SIDERURGIA EM VOLTA REDONDA, RJ

Bruna Garcia Pagliari¹
Maria de Fátima Ramos Moreira²

Química ambiental

Resumo

A cidade de Volta Redonda - RJ é sede de uma das maiores siderúrgicas da América Latina. No entanto, uma série de denúncias de irregularidades tem chamado à atenção da mídia e do Ministério Público Federal desde sua inauguração. Essa empresa doou um terreno aos funcionários para a construção de um condomínio. Até então, a siderúrgica utilizava esse terreno para destinar toneladas de resíduos perigosos, negligenciando regulamentações e processos de licenciamento ambiental. A empresa depositou grandes quantidades de escória de aciaria no local próximo às casas. O condomínio não só foi construído sobre resíduos industriais, mas também está localizado a menos de 30 metros da área atualmente usada para armazenamento e processamento de escória de aciaria. Hoje em dia, uma "pilha" de resíduos de 30 metros de altura ultrapassa as paredes do local e fica a menos de 50 metros do rio Paraíba do Sul. O objetivo desse estudo foi investigar a presença de BTEX e metais (As, Cd, Co, Hg, Sn, Sb, Al e Mn) em amostras de solo do condomínio. Seis pontos de amostragem em três campanhas forneceram trinta e seis amostras de solo, coletadas em áreas públicas não impermeabilizadas do condomínio, em duas profundidades, uma superficial, 0,20 m, e outra subterrânea entre 2,00 e 3,00 m. Os resultados mostram que os níveis de metais no solo do condomínio são em geral elevados. Desta forma, o condomínio construído sobre área contaminada por resíduos da indústria siderúrgica gera preocupação, devendo essa população ser monitorada.

Palavras-chave: Indústria siderúrgica; Metais; Btex; Resíduos industriais; Solo.

¹Aluna do Doutorado em Saúde Pública e Meio Ambiente, Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ, Escola de Saúde Pública Sérgio Arouca - ENSP, brunapagliari@poli.ufrj.br.

²Prof. Dra. Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ, Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana - CESTE, fmoreira@ensp.fiocruz.br.



INTRODUÇÃO

A cidade de Volta Redonda convive há mais de 75 anos com muitos problemas ambientais decorrentes da atividade siderúrgica, principalmente com o passivo ambiental deixado nas primeiras cinco décadas, quando as medidas de gestão ambiental eram inexistentes ou muito precárias (CETEM, 2013).

Segundo estudos, a indústria química, petroquímica e a metalúrgica são consideradas as mais poluentes no Brasil. Dentre os setores da indústria metalúrgica, a siderurgia é considerada a atividade mais poluente. O crescimento recente do setor siderúrgico no Brasil, embora proporcione ganhos econômicos, vem intensificando impactos negativos para o meio ambiente. Sua demanda por insumos e energia é muito grande. A necessidade de processamento de insumos, para obtenção do aço, faz com que a indústria siderúrgica seja responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos, tais como, pós, lamas, escórias (de alto-forno e de aciaria), carepas de laminação, etc. (SANTOS, 2010; IPEA, 2012; JENNINGS, 2013).

O município abriga uma das maiores siderúrgicas da América Latina, que foi fundada em 1941 e iniciou suas operações no ano de 1946. Desde o início de sua construção, uma série de relatos de irregularidades chamou a atenção da imprensa e do Ministério Público Federal (CETEM, 2013; BRASIL, 2012).

Esta empresa doou um terreno, onde foi construído um condomínio para os funcionários. Até então, a siderúrgica utilizava esse terreno como aterro de resíduos industriais para destinar toneladas de resíduos perigosos, negligenciando regulamentos e processos de licenciamento ambiental (BRASIL, 2012; CETEM, 2013).

Após a construção, a companhia siderúrgica passou a depositar seus resíduos no interior da empresa responsável pela estocagem e beneficiamento de escória de aciaria, localizada próxima ao terreno onde foi construído o condomínio. Aproximadamente 6.700 m³ de resíduos foram depositados, tais como borras ácidas de carboquímico, borras de alcatrão, borras oleosas em geral, lama de estação de tratamento de efluentes químicos da planta siderúrgica, solo contaminado com óleo e alcatrão, resíduos laboratoriais, material plástico contaminado por cromo e resíduos de tubulação de gás de coqueria (BRASIL,

2012; BRASIL, 2015).

Atualmente, a empresa continua descartando indevidamente grandes quantidades de escória de aciaria no terreno anexo ao condomínio. A "pilha" de resíduos, com 30 metros de altura, ultrapassa os muros ao redor do local e fica a menos de 50 metros do Rio Paraíba do Sul. A falta de proteção deixa esses resíduos suscetíveis às intempéries e à contaminação ambiental devido à possibilidade de lixiviação de compostos químicos, afetando o lençol freático, o ar, o solo e os moradores do entorno. Pode contaminar o Rio Paraíba do Sul, gerando consequências para o abastecimento público de água de dezenas de cidades do Vale do Paraíba, Baixada Fluminense e da capital, Rio de Janeiro. O condomínio não só foi construído sobre resíduos industriais, mas também está localizado a menos de 30 metros do terreno atualmente utilizado para armazenamento e processamento de escória de aciaria (BRASIL, 2015).

Tendo em vista que o depósito foi construído e mantido independentemente de controle, legislação e medidas mínimas de segurança e prevenção de acidentes, a siderúrgica pode estar contribuindo para a contaminação do meio ambiente e da saúde da população do entorno.

Objetiva-se com o esse trabalho investigar a presença de BTEX e metais (As, Cd, Co, Hg, Sn, Sb, Al e Mn) em amostras de solo, superficiais e subterrâneas, coletadas em áreas públicas ainda não impermeabilizadas do Condomínio em Volta Redonda, RJ.

METODOLOGIA

Área de estudo

O local analisado foi um condomínio em Volta Redonda, município da microrregião do Vale do Paraíba, Sul do Rio de Janeiro (182.483 Km²), no eixo Rio - São Paulo. O Rio Paraíba do Sul atravessa o município, flui de oeste para leste e é a principal fonte de abastecimento de água para mais de 12 milhões de pessoas no estado, das quais 85% são residentes na região metropolitana. As áreas de terras altas da região apresentam solos argilosos profundos e ácidos com baixa porosidade; por sua vez, as áreas de várzea nas margens dos rios são compostas predominantemente por solos férteis ricos em matéria

orgânica. O município possui uma população de 257.803 habitantes, sendo 1.412,75 habitantes por Km². O condomínio está localizado no bairro Santo Agostinho - zona leste do município, entre a margem direita do rio Paraíba do Sul e a rodovia Lúcio Meira (BR 393). É composto por 808 imóveis, divididos em oito blocos, com cerca de 3.000 moradores. Segundo o INEA, a área é classificada como área contaminada em intervenção (ACI) (INEA, 2014; BRASIL, 2012; BRASIL, 2015).

Amostragem de solo

Os blocos do condomínio são separados por muros de aproximadamente 4 metros de altura. Todas as calçadas, ruas, quintais, quarteirões e praças foram impermeabilizados para que a população não tivesse contato direto com o solo. A coleta das amostras de solo em áreas públicas não impermeabilizadas do condomínio contribuiu para analisar a situação atual da área, principalmente em seu entorno, considerando a distância do aterro de escória de aciaria.

A amostragem do solo foi realizada nos mesmos seis pontos nas três campanhas (Figura 01). Os pontos foram georreferenciados, sendo coletadas amostras de superfície do solo ("A") na profundidade média de 0,20 m, e amostras subterrâneas ("B") na profundidade média variando entre 2,00 e 3,00 m, dependendo do nível da água. Durante a coleta e transporte para o laboratório, as amostras foram mantidas em frascos de vidro (1000 mL) devidamente identificados e refrigerados em caixa térmica a 4°C.

A primeira campanha foi realizada em um dia ensolarado de junho de 2018 com uma temperatura de 32°C. Embora as chuvas sejam constantes na cidade independentemente da época do ano, um dos meses mais secos da cidade é junho. A velocidade média do vento foi de 13,2 km/h na direção norte-nordeste.

As outras duas campanhas foram realizadas em setembro de 2019 e maio de 2020. Em ambas as amostragens, os dias foram nublados. Em setembro, as condições climáticas eram de temperatura igual a 20°C e velocidade média do vento de 9,2 km/h na direção sul. A amostragem de maio apresentou condições intermediárias com temperatura de 25°C e velocidade média do vento de 10,5 km/h na direção norte.



Figura 01: Pontos de coleta de amostras de solo no condomínio em Volta Redonda.

Fonte: Google Earth, 2019.

Na época das chuvas, a declividade do terreno faz com que a água escoe pelos canais impermeabilizados do condomínio (ruas, calçadas, praças, quadras) em direção ao Rio Paraíba do Sul. Os pontos de coleta foram delimitados com base na trajetória de contaminação do líquido durante a precipitação e a distância do aterro de escória siderúrgica, considerando aqueles mais próximos da “pilha” (Pontos 2 e 3), pontos intermediários (Pontos 1 e 4) e os mais distantes (Pontos 5 e 6).

As perfurações para coleta das amostras de solo foram realizadas por meio de trado manual, normatizada pela ABNT NBR 15492: “*Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental*” (ABNT, 2007), com diâmetro nominal de 4 polegadas.

Experimental

Um laboratório certificado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (INEA) - RJ analisou as amostras, onde um espectrômetro PerkinElmer (Norwalk, CT., EUA) Optima™ 8300 ICP-OES realizou as medições dos oito metais de interesse (As, Cd, Co, Hg, Sn, Sb, Al e Mn) de acordo com o método SM-3120B (RICE *et al.*, 2012). A determinação dos BTEX foi realizada por Cromatografia Gasosa acoplado com Espectrômetro de Massas (CG-EM) com detector íon-trap, respectivamente modelos CP-3800 e SATUM 2200, ambos da Varian, seguindo o método EPA-8260C.



Uma mistura de ácidos nítrico e clorídrico digeriu as amostras de solo e a solução foi aquecida até reduzir o volume. Em seguida, realizou-se a filtração e a água desionizada completou o volume. Após o processo de digestão das amostras, o ICP-OES realizou a determinação do teor de metal total. A digestão ácida usada como pré-tratamento seguiu o Método EPA 3005A - “*Acid digestion of waters for total recoverable or dissolved metals for analysis by FLAA or ICP spectroscopy*”. As curvas de calibração foram preparadas usando amostras em branco enriquecidas com microvolumes adequados das soluções padrão para cada metal, e os materiais de referência feitos em laboratório verificaram a precisão do procedimento. Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) do método foram 0,07 e 0,25 mg/Kg, respectivamente.

Para a determinação dos BTEX, foi seguido o método EPA 8260C - rev 03 - “*Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS)*”, modelos CP-3800 e SATUM 2200, ambos da Varian. As curvas de calibração foram preparadas usando amostras em branco enriquecidas com microvolumes adequados das soluções padrão para cada BTEX, e os materiais de referência feitos em laboratório verificaram a precisão do procedimento. Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) do método foram 0,0005 e 0,001 mg/Kg, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 01 mostra as médias e desvios-padrão para as concentrações dos metais (As, Cd, Co, Hg, Sn, Sb, Al e Mn) e a Tabela 02 para os BTEX, em amostras de solo de áreas públicas não impermeabilizadas do condomínio em Volta Redonda - RJ.

Tabela 01: Média (mg Kg⁻¹) e desvios-padrão para a concentração dos metais em amostras de solo do condomínio em Volta Redonda – RJ

Pontos	As	Cd	Co	Hg	Sn	Sb	Al	Mn
P-1A	≤ 0,25	≤ 0,25	6,6 ± 5,6	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	4.571,7 ± 3.311,9	1.762,0 ± 1.718,5
P-1B	≤ 0,25	≤ 0,25	6,9 ± 5,8	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	3.160,0 ± 4.023,2	480,9 ± 640,2
P-2A	≤ 0,25	≤ 0,25	12,2 ± 10,5	≤ 0,25	≤ 0,25	0,5 ± 0,4	7.815 ± 6.333,8	844,8 ± 777,5
P-2B	≤ 0,25	≤ 0,25	18,4 ± 16,6	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	7.608,5 ± 6.476,2	756,8 ± 669,0
P-3A	≤ 0,25	≤ 0,25	8,8 ± 7,4	≤ 0,25	2,6 ± 4,0	≤ 0,25	6.773,5 ± 5.063,1	1.644,2 ± 1.423,3
P-3B	≤ 0,25	≤ 0,25	11,6 ± 10,4	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	7.434,2 ± 5.592,6	1.937,8 ± 1.913,5
P-4A	≤ 0,25	≤ 0,25	61,0 ± 96,2	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	6.385,5 ± 5.076,7	1.370,0 ± 1.222,2
P-4B	≤ 0,25	≤ 0,25	7,1 ± 6,2	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	5.141,3 ± 5.197,1	1.025,8 ± 1528,2
P-5A	≤ 0,25	≤ 0,25	7,2 ± 6,2	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	7.610,2 ± 6.287,0	1.443,0 ± 1.592,7
P-5B	≤ 0,25	≤ 0,25	6,7 ± 5,7	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	7.123,3 ± 5.353,2	537,5 ± 460,7
P-6A	≤ 0,25	≤ 0,25	10,2 ± 8,6	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	9.874,8 ± 7.908,3	207,0 ± 167,5
P-6B	≤ 0,25	≤ 0,25	6,2 ± 5,2	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	7.444,5 ± 6.731,4	590,7 ± 508,2

Limite de quantificação = 0,25 mg Kg⁻¹. As: Arsênio; Cd: Cádmio; Co: Cobalto; Hg: Mercúrio; Sn: Estanho; Sb: Antimônio; Al: Alumínio; Mn: Manganês.

Tabela 02: Média (mg Kg⁻¹) e desvios-padrão para a concentração dos BTEX em amostras de solo do condomínio em Volta Redonda – RJ

Pontos	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xileno
P-1A	≤ 0,001	0,028 ± 0,046	≤ 0,001	≤ 0,001
P-1B	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001
P-2A	≤ 0,001	0,034 ± 0,057	≤ 0,001	≤ 0,001
P-2B	≤ 0,001	0,029 ± 0,049	≤ 0,001	≤ 0,001
P-3A	≤ 0,001	0,021 ± 0,035	≤ 0,001	≤ 0,001
P-3B	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001
P-4A	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001
P-4B	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001
P-5A	≤ 0,001	0,028 ± 0,046	≤ 0,001	≤ 0,001
P-5B	≤ 0,001	0,024 ± 0,040	≤ 0,001	≤ 0,001
P-6A	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,001
P-6B	≤ 0,001	0,034 ± 0,057	≤ 0,001	≤ 0,001

Limite de quantificação = 0,001 mg Kg⁻¹.



A Resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece três classes de valores norteadores para solos, o valor de referência de qualidade (VRQ), o valor de prevenção (VP) e o valor de intervenção (VI). VRQ é a concentração de uma determinada substância, que define o solo como limpo, utilizado como referência na prevenção e controle de contaminação. VP é a concentração acima da qual podem ocorrer alterações nocivas na qualidade do solo, com consequências para o homem e os animais, devendo ser adotadas medidas preventivas contra a contaminação. Finalmente, VI é a concentração acima da qual existem riscos potenciais para a saúde humana. No entanto, cada estado estabelece seu próprio VRQ (CONAMA, 2009).

A Empresa de Tecnologia e Saneamento Básico do Estado de São Paulo (CETESB) elaborou uma lista com valores norteadores para a concentração de metais e BTEX, entre outros, no solo, que será utilizada para comparação por serem iguais à CONAMA, exceto os VRQ (CETESB, 2016).

Para obter os índices de risco à saúde humana após a exposição ao solo contaminado por qualquer via de exposição, as concentrações de metais e BTEX do solo também foram comparadas com os níveis permissíveis (NP) em alimentos para consumo humano. A NP para solos agrícolas pode ser prejudicial à saúde humana em caso de ingestão, inalação ou contato com a pele (FAO/WHO, 2011; BWATANGLANG *et al.*, 2019).

Os metais arsênio, cádmio e mercúrio se apresentaram no limite de quantificação ($0,25 \text{ mg Kg}^{-1}$), valor superior aos estabelecidos pela Food and Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO, 2011), de $0,05 \text{ mg Kg}^{-1}$ para o cádmio e $0,1 \text{ mg Kg}^{-1}$ para o mercúrio. A exceção foi o arsênio, que se apresentou inferior ao limite de $0,5 \text{ mg Kg}^{-1}$. A Cetesb estabeleceu os valores de referência de qualidade (VRQ) e de prevenção (VP) iguais a $3,5$ e 15 mg Kg^{-1} (As) e $<0,5$ e $1,3 \text{ mg Kg}^{-1}$ (Cd). Portanto, os níveis dessas amostras estão de acordo com a legislação em vigor (CETESB, 2016). Por outro lado, o mercúrio ultrapassou o VRQ ($0,05 \text{ mg Kg}^{-1}$), mas o VP se apresentou inferior ao limite estabelecido pela Cetesb, de $0,5 \text{ mg Kg}^{-1}$ (CETESB, 2016). Um estudo realizado na China avaliou a presença de metais em amostras de solo de uma área de fundição de mercúrio. Os autores encontraram a concentração de arsênio (67,42

mg Kg⁻¹), cádmio (0,78 mg Kg⁻¹) e mercúrio (358,51 mg Kg⁻¹), valores superiores aos encontrados no Condomínio Volta Grande IV (WU *et al.*, 2020). Por outro lado, na Nigéria, foi realizado um estudo para investigar os impactos na saúde de metais derivados do tráfego usando amostras de solo superficiais, e os autores encontraram valores de cádmio inferiores ao do Condomínio, na faixa de 0,03 a 0,06 mg Kg⁻¹ (BWATANGLANG *et al.*, 2019).

A concentração média de cobalto nas amostras de solo superficiais variaram de 6,6 a 61,0 mg Kg⁻¹. A Cetesb estabeleceu VRQ e VP iguais a 13 e 25 mg Kg⁻¹ (CETESB, 2016). O VRQ e VP se apresentaram acima do limite somente no ponto P-4A. O cobalto não foi avaliado pela FAO/WHO (2011). Dois estudos realizados na Malásia, um analisou a presença de metais em sedimentos superficiais de uma área de mineração de bauxita (KUSIN *et al.*, 2018) e o outro investigou a presença de metais em solos superficiais de áreas impactadas por minas de ferro (DIAME; KUSIN; MADZIN, 2016). Um relatou níveis de cobalto inferiores, na faixa de 0,1 a 2,7 mg Kg⁻¹ (KUSIN *et al.*, 2018) e a outra pesquisa relatou valores semelhantes e muito superiores aos encontrados no Condomínio, variando de 4,5 a 107,5 mg Kg⁻¹ (DIAME; KUSIN; MADZIN, 2016).

O estanho foi detectado acima do limite de quantificação (0,25 mg Kg⁻¹) somente na amostra de solo superficial P-3A (2,6 mg Kg⁻¹), apresentando-se muito inferior aos valores estabelecidos pela FAO/WHO (2011), de 50,0 mg Kg⁻¹. O VRQ e VP não são estabelecidos pelo Conama e Cetesb (CONAMA, 2009; CETESB, 2016). Um estudo realizado na China avaliou a presença de metais no solo de uma área urbanizada da bacia do Rio Yangtzé. Os autores relataram níveis de estanho variando de 1,80 a 9,60 mg Kg⁻¹, valores semelhantes e superiores aos encontrados no condomínio (JIA, LI e WANG, 2018).

O antimônio foi detectado acima do limite de quantificação (0,25 mg Kg⁻¹) somente na amostra de solo superficial P-2A (0,5 mg Kg⁻¹), com o mesmo valor de VRQ (0,5 mg Kg⁻¹) estabelecido pela Cetesb. Por outro lado, o VP (2,0 mg Kg⁻¹) se apresentou inferior ao limite apresentado pela legislação (CETESB, 2016). O antimônio não foi avaliado pela FAO/WHO (2011). No estudo realizado na China, foram encontrados níveis de antimônio na faixa de 7,28 a 341,74 mg Kg⁻¹, valores muito superiores aos do condomínio (WU *et*



al., 2020).

A concentração média de alumínio nas amostras de solo superficiais variaram de 4.571,7 a 9.874,8 mg Kg⁻¹, muito superior à estabelecida pela FAO/WHO (2011), de 2,0 mg Kg⁻¹. O VRQ e VP não foram estabelecidos pelo Conama e Cetesb para este elemento (CONAMA, 2009; CETESB, 2016). O Al e o Mn são um dos principais elementos encontrados nos solos e geralmente estão presentes em altas concentrações em comparação com outros metais (IQBAL e SHAH, 2014). Em pesquisa realizada na Malásia, os autores encontraram níveis de alumínio entre 13.735 e 22.149 mg Kg⁻¹, muito superiores àqueles encontrados no condomínio (KUSIN *et al.*, 2018).

A concentração de manganês nas amostras de solo superficiais variou de 207,0 a 1.762,0 mg Kg⁻¹, muito superior à estabelecida pela FAO/WHO (2011), de 2,0 mg Kg⁻¹. O VRQ e VP também não foram estabelecidos pelo Conama e Cetesb para este metal (CONAMA, 2009; CETESB, 2016). Na Malásia, dois estudos relataram concentrações de manganês bem superiores às alcançadas no condomínio, na faixa de 920,5 a 5.285 mg Kg⁻¹ e 13.735 a 22.149 mg Kg⁻¹ (KUSIN *et al.*, 2018).

Entre os BTEX analisados, apenas o tolueno se apresentou acima do limite de quantificação igual a 0,001 mg Kg⁻¹. A concentração do tolueno nas amostras de solo superficiais variou de 0,001 a 0,034 mg Kg⁻¹, inferior ao VP (0,9 mg Kg⁻¹), determinado pela legislação (CETESB, 2016). Apesar do VP, a Cestesb não tem VRQ estabelecido. Da mesma forma, a FAO/WHO (2011) também não tem limite para essa substância. Um estudo realizado em Santa Catarina analisou amostras de solo de uma área industrial contaminada com borra oleosa oriunda do processo de refino de óleos lubrificantes usados. Os autores encontraram níveis de BTEX iguais a 41,40 mg Kg⁻¹ (benzeno), 30,90 mg Kg⁻¹ (tolueno), 960,00 mg Kg⁻¹ (etilbenzeno) e 1522,70 mg Kg⁻¹ (xileno), bem superiores aos encontrados no Condomínio (RINALDI e DA SILVA, 2008).

CONCLUSÕES

A avaliação contínua da exposição desta população através de monitoramento biológico e ambiental é necessária uma vez que os teores de metais (Al e Mn) no solo do

Condomínio são em geral elevados.

Assim, o condomínio construído sobre uma área contaminada por resíduos da indústria do aço suscita preocupação, exigindo o monitoramento contínuo de sua população.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15492: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. **Ação civil pública, com pedido de antecipação dos efeitos da tutela in limine**. Volta Redonda – RJ, 2012. Available in: http://www.prrj.mpf.mp.br/arquivos_pdf/ACP%20CSN%20VOLTA%20GRANDE%20IV.pdf. Access in: 13 fev. 2019.

BRASIL. **Ação civil pública, com pedido de liminar**. Volta Redonda – RJ, 2015. Available in: file:///C:/Users/Bruna%20Pagliari/Downloads/ACP_%20CSN.pdf. Access in: 13 fev. 2019.

BWATANGLANG, I. B.; ALEXANDER, P.; TIMOTHY, N. A. Vehicle-Derived Heavy Metals and Human Health Risk Assessment of Exposure to Communities along Mubi-Yola Highway in Adamawa State (Nigeria). **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 23, n. 1, p. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2019/v23i130110>.

Centro de Tecnologia Mineral. **Volta Redonda (RJ) convive com efeitos cumulativos de 71 anos de atividade siderúrgica**. 2013b. Available in: <http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=135>. Access in: 15 fev. 2020.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Valores orientadores para solo e água subterrânea no Estado de São Paulo 2016**. São Paulo, CETESB, 2016. Available in: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/tabela_vos_2016_site.pdf. Access in: 21 dez. 2020.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de Dezembro de 2009**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2017.

DIAMI, S. M.; KUSIN, F. M.; MADZIN, Z. Potential ecological and human health risks of heavy metals in surface soils associated with iron ore mining in Pahang, Malaysia. **Environmental Science and Pollution Research**, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-7314-9>.

Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods. **Working document for information and use in discussions related to contaminants and toxins in the Gcstff**. Fifth Session. The Hague, The Netherlands, 2011. 90 p. Available in: http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCCF/CCCF5/cf05_INF.pdf. Access in: 19 mar. 2020.



Instituto Estadual do Ambiente. **Plano estadual de recursos hídricos do estado do rio de janeiro. Relatório gerencial.** Rio de Janeiro, INEA, 2014. Available in: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdcx/~edisp/inea0071538.pdf>. Access in: 12 jan. 2020.

Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais: Relatório de Pesquisa.** 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120927_relatorio_residuos_solidos_industriais.pdf. Acesso em: 22 mar. 2018.

IQBAL, J.; SHAH, M.H. Occurrence, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in surface sediments from Khanpur Lake, Pakistan. **Journal of Analytical Science and Technology**, v. 5, n. 28, 2014.

JENNINGS, A. A. Analysis of worldwide regulatory guidance values for the most commonly regulated elemental surfasse soil contamination. **Journal of Environmental Management**, v.118, n.30, p.72-95, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.032>.

JIA, Z.; LI, S.; WANG, L. Assessment of soil heavy metals for eco-environment and human health in a rapidly urbanization area of the upper Yangtze Basin. **Scientific Reports**, 8:3256, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21569-6>.

KUSIN, F. M.; AZANIA, N. N. M.; HASANA, S. N. M. S.; SULONGA, N. A. Distribution of heavy metals and metalloid in surface sediments of heavily mined area for bauxite ore in Pengerang, Malaysia and associated risk assessment. **ScienceDirect**, Catena v. 165, pp. 454-464, 2018.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; CLESCERI, L. S. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** American Public Health Association: Washington DC., 2012.

RINALDI, A.; DA SILVA, M. R. Química Degradação de BTEX em solo contaminado, através de processos oxidativos avançados, utilizando H₂O₂ e KMnO₄. **Sociedade Brasileira de Química (SBQ) 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química.** <http://sec.sbq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T0254-2.pdf>.

SANTOS, R. M. et al. Remediação de solo contaminado por petróleo em biopilhas – escala piloto. **4º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás**, Campinas, SP. Anais. Campinas: Centro de Tecnologia Mineral CETEM, 2007.

WU, Z.; ZHANG, L.; XIA, T.; JIA, X.; WANG, S. Heavy metal pollution and human health risk assessment at mercury smelting sites in Wanshan district of Guizhou Province, China. **Royal Society of Chemistry**, v. 10, pp. 23066-23079, 2020.