

AVALIAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM CHORUME PROVENIENTE DE ÁREA DE DEPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM BELÉM – PARÁ**Lianne Maria M. Dias^{a,*}, Maria Vitória R. da Silva^a, Kelson do Carmo F. Faial^b, Neuton T. Vasconcelos Junior^b, Raimunda F. S. Maia^a, José Antonio S. Souza^a e Emanuel Negrão Macedo^a**^aInstituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 66000-000 Belém – PA, Brasil^bInstituto Evandro Chagas, 67030-000 Ananindeua – PA, Brasil

Recebido em 30/11/2021; aceito em 11/05/2022; publicado na web em 08/06/2022

EVALUATION OF POTENTIALLY TOXIC METALS IN LEACHES FROM SOLID WASTE DEPOSITION AREA IN BELÉM-PARÁ. The formation of solid waste is a global challenge regarding environmental preservation. Due to the lifestyle of modern society, which aims to improve practicality, new products are constantly being released in the market and increasing the formation of waste. The decomposition of waste from various origins produces a dark liquid named leachate, which presents high rates of organic and inorganic compounds. The objective of this study was to assess the concentration of potentially toxic metals in the leachate collected from the Aurá dump. The concentrations of Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, and Zn were evaluated in leachate samples collected in a period of a year, covering two typical seasonal periods of the Amazon region with more and less rainfall. The leachate samples collected in the Aurá dump were determined in the Toxicology Laboratory of Instituto Evandro Chagas (IEC), by means of Plasma/Inductively Coupled Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The Cr, Mn, and Pb metals analyzed in the slurry samples are in a concentration above the maximum limits specified by CONAMA Resolution No. 430/2011, causing significant environmental concerns.

Keywords: landfill leachate; toxic metals; solid waste.

INTRODUÇÃO

No Brasil, em 2018, pelos dados divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foram geradas 79 milhões de toneladas resíduos sólidos urbanos (RSU). Desse montante, apenas 43,3 milhões de toneladas receberam a destinação adequada em aterros sanitários, o restante foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios. Ou seja, 29,5 milhões de toneladas de RSU acabaram indo para lixões ou aterros controlados, que não contam com um conjunto de sistemas e medidas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra danos e degradações.¹ Os aterros controlados e lixões são inapropriados para a deposição dos RSU, pois, não há impermeabilização e os metais presentes nas substâncias provenientes da decomposição dos resíduos infiltram no solo atingindo águas subterrâneas e são carregadas pelas chuvas contaminando o meio ambiente.²

Na região Norte, no ano de 2019, foram gerados 4.406.280 t de resíduos sólidos, sendo que 1.683.745 t foram destinados ao Aterro Sanitário, 1.421.675 t ao Aterro controlado e 1.664.765 ao lixão. O estado Pará, localizado na região Norte possui 145 municípios, o qual apresentou para o mesmo período a geração de 2.643.695 toneladas de RSU.^{1,2} Belém e os demais municípios da Região Metropolitana de Belém (RMB) foram responsáveis pela geração de 1.902 toneladas/dia da produção de RSU, do total de toneladas 4,507 toneladas/dia geradas no Pará em 2014.³

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tem como prioridades a redução do volume de resíduos gerados, a ampliação da reciclagem, aliada a mecanismos de coleta seletiva com inclusão social de catadores e a extinção dos lixões. Além disso, prevê a implantação de aterros sanitários que receberão apenas dejetos, aquilo que, em última instância, não pode ser aproveitado. Esses

aterros deverão ser forrados com manta impermeável para evitar a contaminação do solo.

A decomposição química e microbiológica dos RSU depositados no solo produz o chorume líquido escuro e de odor desagradável é também denominado por lixiviado ou percolado, cuja composição química apresenta grande variabilidade, uma vez que, depende da natureza dos resíduos depositados, da forma de disposição, manejo e da idade do aterro, é extremamente influenciada por fatores climáticos, dentre os quais pode-se destacar, a quantidade de chuva e a temperatura.⁴ As condições básicas para que ocorra a formação do chorume incluem a manutenção dos processos anaeróbios, teores elevados de matéria orgânica e umidade, sendo que a principal fonte precursora para formação do chorume é a água da chuva que, através da infiltração, há uma migração de compostos químicos presentes na massa de lixo aterrada, que gradativamente aumenta o volume percolado, diluindo a concentração de vários íons contaminantes.⁵ O chorume produzido em aterro pode conter significativas concentrações de metais, dentre os quais Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni e Fe, podendo desencadear problemas de toxicidade aos organismos que estiverem expostos, como os seres humanos, plantas, animais, além de alcançar as coleções hídricas superficiais e infiltrar-se no solo atingindo as águas subterrâneas, comprometendo sua qualidade e potenciais usos.^{6,7}

Os aterros localizados em áreas com alta pluviosidade apresentam produção abundante de chorume, promovendo maiores riscos de contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas.^{5,8} De maneira geral, o chorume pode ser considerado como uma matriz de extrema complexidade, composta por quatro frações principais: matéria orgânica, compostos orgânicos xenobióticos, cátions e ânions inorgânicos e metais, incluindo os de maior potencial tóxico.⁹

Entre as principais fontes de metais presentes em diversos tipos de resíduos levados para aterros podem ser encontrados os seguintes materiais: lâmpadas, pilhas galvânicas, embalagens de aerossóis, cosméticos, alimentos, inseticidas, resíduo de produtos farmacêuticos, plásticos e outros materiais.^{6,10}

*e-mail: diaslianne@yahoo.com.br

A área de deposição de resíduos sólidos da RMB, denominada como Aterro do Aurá, não possui tratamento de chorume e nem impermeabilização do solo, está localizada próxima aos mananciais do Utinga, lago Bolonha e Água Preta, que compõem a Área de Proteção Ambiental (APA) – Belém, criada para assegurar a qualidade da água de abastecimento de 75% da população da RMB.¹¹

A possível contaminação dos mananciais que abastecem a RMB em decorrência da proximidade com o aterro gera a necessidade de estudos que determinem a concentração desses metais no chorume dentro da área do Aurá, uma vez que, estudos demonstram que mesmo a longa distância do aterro podem ser observados efeitos adversos na biota aquática, solo e em contato com o ser humano pode causar diversas doenças, muitas podendo ser letais.^{9,12}

Diante deste contexto, o objetivo desse trabalho foi identificar os níveis de concentração dos metais cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) no chorume e comparar com os valores de prevenção (VP) estabelecidos pela Resolução nº 430/2011¹³ do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Para subsidiar futuras pesquisas sobre os riscos desses contaminantes no solo, águas subterrâneas e águas superficiais.

PARTE EXPERIMENTAL

Área de estudo

Do ponto de vista geológico, a cidade de Belém e seu entorno estão localizados sobre uma unidade basal denominada de Grupo Barreiras, sotoposta às Coberturas Detrito-Lateríticas Neo-Pleistocênicas e às Aluviões Holocênicas. O Grupo Barreiras é composto de arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados de cores variadas, com níveis concrecionários e caulínicos.^{14,15} Aterro do Aurá, área destinada à

deposição dos resíduos sólidos na RMB, está localizado nos limites do município de Ananindeua e Belém a 19 km do centro da cidade de Belém, em uma área conhecida como Santana do Aurá, bairro de Águas Lindas. Ocupando aproximadamente 130 ha, localizada dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) de Belém situa-se a margem esquerda do Rio Aurá, que por sua vez é afluente do Rio Guamá, onde desembocam os igarapés Tucunduba e Água Preta. A oeste da área do aterro, situados a aproximadamente 1.400 metros de distância, localizam-se os mananciais Bolonha e Água Preta, responsáveis pelo abastecimento de água da RMB¹⁶ (Figura 1).

Segundo a Secretaria de Saneamento de Belém (SESAN),¹⁷ o aterro recebia no ano de 2014 em torno de 1.900 t/dia de resíduos sólidos urbanos provenientes da RMB, composta pelos municípios de Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara e Santa Isabel, com um território de 50.582,30 ha sendo a porção continental correspondente a 17.378,63 ha e a porção insular composta por nove ilhas que correspondem a 33.203,67 ha.¹⁷

Pontos de coletas

A coleta das amostras destinadas ao monitoramento no aterro controlado do Aurá ocorreu no período de maio de 2015 a março de 2016 através de quatro amostragens realizadas nos meses de maio, agosto e dezembro de 2015 e março de 2016, abrangendo o período mais chuvoso que vai de dezembro a maio e o menos chuvoso de junho a novembro. Foram selecionados seis pontos para coleta das amostras de chorume, distribuídos entre as bases das células de deposição de resíduos sólidos que estão desativadas e a lagoa principal de deposição do líquido percolado no aterro, conforme ilustra a Figura 2.

Os pontos P1, P2 e P3 estão localizados na base das células do aterro; onde P1 corresponde à célula formada pela unificação das células 8, 9, 10 e 11. O ponto P2 corresponde à célula formada pela

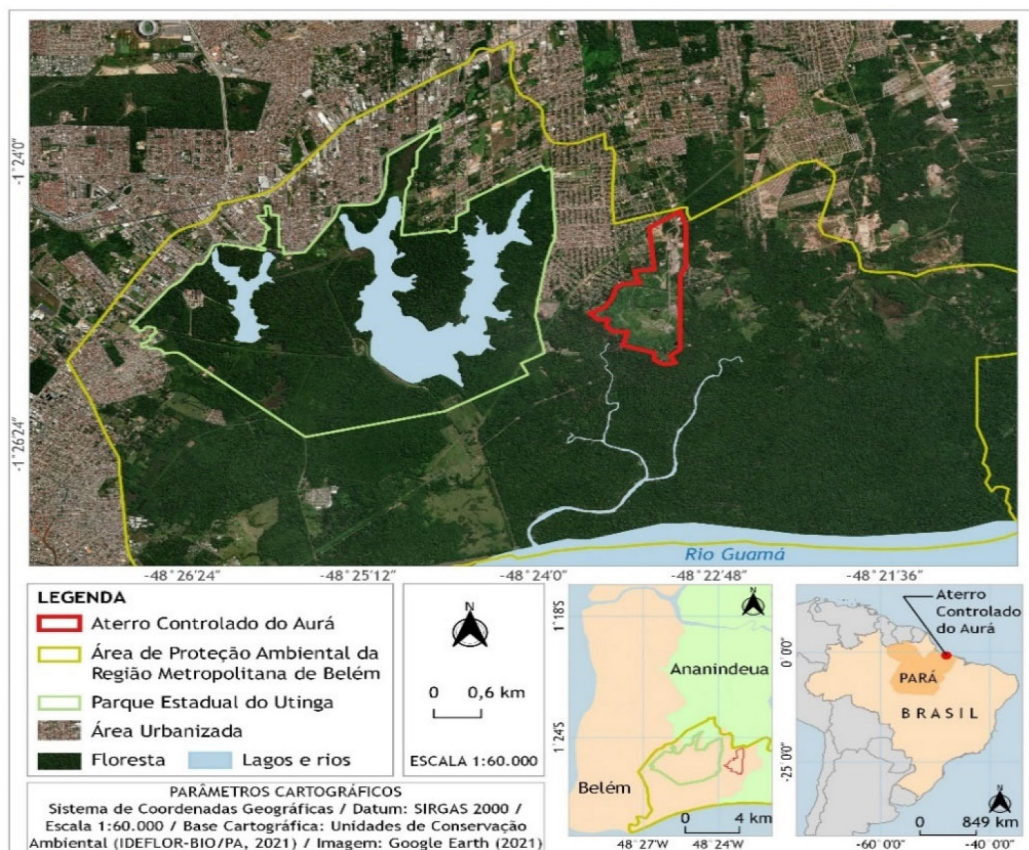


Figura 1. Mapa de localização do aterro do Aurá, dentro da Área de Proteção Ambiental

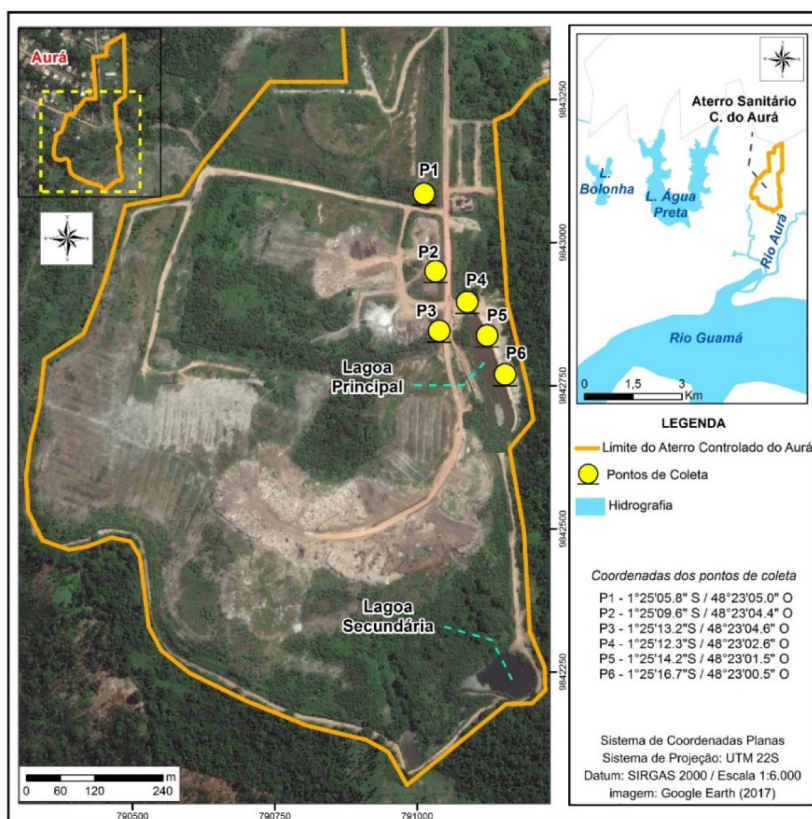


Figura 2. Mapa de localização dos pontos de coleta

unificação das células 12 e 13. O ponto P3 corresponde à célula que incorpora as células 1, 2, 3, 4 e 5. Todas as células estavam desativadas por terem sua capacidade máxima de recebimento de resíduos sólidos se exaurido. Os pontos P4, P5 e P6 estão localizados na margem esquerda da lagoa principal de deposição de chorume.

Coletas e preparo das amostras

As coletas das amostras de chorume foram realizadas em duplicata, no ponto topograficamente mais baixo das células, sendo denominadas de CC1, CC2 e CC3 que corresponde a C (chorume), C (célula) e em seguida o numeral correspondente aos pontos P1, P2 e P3. As amostras coletadas à margem da lagoa principal de deposição de chorume denominadas de CL4, CL5 e CL6 corresponde a C (chorume), L (lagoa) e em seguida o numeral correspondente ao ponto de coleta P4, P5 e P6.

Ainda em campo foram determinados os valores de pH das amostras de chorume, com auxílio de pHmetro da marca Hanna, modelo HI 8424. As amostras do chorume foram acondicionadas em garrafas de polipropileno com capacidade de 1 L previamente descontaminadas com HNO₃ 5% (v/v) e água destilada. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química, da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará (LEQ/FEQ-UFFPA) e acidificadas com 5 mL de HNO₃ concentrado da marca Merck P.A., e mantidas sob refrigeração a 4 °C até o momento da análise.

A determinação da concentração dos metais no chorume foi realizada no Laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas (SAMAM/IEC/MS). No procedimento adotado as amostras foram submetidas ao processo de digestão, onde foram transferidas alíquotas de 5 mL do chorume para tubos de borosilicato, adicionados 5 mL de HNO₃ concentrado da marca Merck P.A e digeridas durante 40 min em sistema fechado assistido

por micro-ondas da marca Berghof, modelo Speedwave4, obedecendo 3 etapas: Na primeira etapa a temperatura de 90 °C, tempo de 10 min e potência de 1200 W; na segunda etapa a temperatura de 100 °C, tempo de 10 min e potência de 900 W e na terceira etapa a temperatura de 120 °C, tempo de 20 min e potência de 600 W. Em seguida, as amostras foram transferidas quantitativamente para frascos graduados e aferidas em 15 mL para a determinação da concentração dos metais.

A determinação da concentração dos metais (em sua forma total) cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) foi realizada através da técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), modelo Vista-MPX CCD simultâneo (Varian, Mulgrave, Austrália), configuração axial e equipado com um sistema de amostragem automático (SPS – 5). O controle das condições operacionais do ICP-OES foi realizado com o software ICPEXpert Vista. A curva de calibração foi realizada com soluções padrões de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn da marca Specsol; as alíquotas foram preparadas através do método de diluição, na faixa de 1 a 32 mg L⁻¹, partindo de uma concentração de 1000 mg.L⁻¹. O limite de detecção (LD) da técnica de ICP utilizado para as análises de chorume foram: Cd (0,003 mg L⁻¹), Cr (0,014 mg L⁻¹), Cu (0,008 mg L⁻¹), Mn (0,002 mg L⁻¹), Ni (0,024 mg L⁻¹), Pb (0,050 mg L⁻¹) e Zn (0,062 mg L⁻¹), por outro lado, os limites de quantificação foram os seguintes: Cd (0,009 mg L⁻¹), Cr (0,042 mg L⁻¹), Cu (0,024 mg L⁻¹), Mn (0,006 mg L⁻¹), Ni (0,072 mg L⁻¹), Pb (0,167 mg L⁻¹) e Zn (0,186 mg L⁻¹). A exatidão do método analítico na análise das amostras de chorume foi avaliada por meio de concentrações conhecidas dos metais presentes no Material de Referência Certificado TDMA 64.2 - Environment Canadá, utilizado para análises de água, e que apresentaram os seguintes percentuais médios de recuperação; Cd (113±10), Cr (114±8), Cu (112±11), Mn (111±12), Ni (113±11), Pb (98±14) e Zn (118±12).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH nos pontos amostrados apresentaram valores alcalinos com mínimo e máximo de 8,2 a 8,6 para as amostras de chorume. Tais valores apresentaram-se na mesma faixa de pH (8,0 - 8,5) determinados por Rigueti *et al.*,² em amostras de chorume do Aterro Sanitário em Dourados, MS, semelhantes ao pH de 8,4 determinado por Moraes e Zamora⁴ no Aterro Sanitário de Caximba, Curitiba, PR e dentro da faixa de pH (5,7 - 8,6) encontrada por Souto,¹⁸ para aterros sanitários.

Os valores básicos de pH no chorume indicam a predominância de resíduos em estado avançado de decomposição, a coloração marrom escuro no chorume sugere a formação de substâncias húmicas e fase metanogênica de estabilização em que predominam microrganismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em CH₄ e CO₂. A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nessa fase ascenderá a valores na faixa de 6,8 a 8,0 e o valor da condutividade do chorume reduz. Menos constituintes inorgânicos permanecerão dissolvidos, tendo como consequência a redução da concentração de metais potencialmente tóxicos no chorume.^{19,20}

O pH exerce forte influência na dinâmica dos íons metálicos catiônicos (Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺, Cr²⁺, Co²⁺, Pb²⁺ e Cd²⁺). Ambientes em condições de pH acima de seis favorecem a dissociação de H⁺ de grupos OH da matéria orgânica e dos óxidos de Fe e Al,

aumentando a adsorção dos metais e posterior precipitação, reduzindo a sua biodisponibilidade.²¹

Para verificar a influência do índice pluviométrico no pH do chorume e na concentração dos metais, as coletas foram realizadas em épocas com diferentes índices: maio/2015 (554 mm), agosto/2015 (223,5 mm), dezembro/2015 (225 mm) e março/2016 (746 mm). Os resultados indicaram que nas coletas realizadas no período menos chuvoso, meses de agosto a dezembro, ocorre pequeno aumento nas concentrações dos metais, revelando uma discreta influência entre os períodos, provavelmente devido às peculiaridades da região que é a de não apresentar um período característico de inverno ou de verão, tendo, portanto, um período com maior intensidade de chuva, que é denominado período mais chuvoso e outro denominado período menos chuvoso.

Os resultados analíticos dos metais Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn determinados nas amostras de chorume do aterro do Aurá com valores médios e desvio-padrão das concentrações para cada ponto e época de coleta podem ser visualizados na Tabela 1. Os resultados obtidos foram analisados considerando os valores dispostos na Resolução nº 430/2011 do CONAMA,¹³ que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores

O metal Cd apresentou concentrações abaixo do limite máximo estabelecido de 0,2 mg L⁻¹ pela Resolução CONAMA nº 430/2011, sendo a concentração máxima de 0,03 ± 0,00 mg L⁻¹ para as amostras coletadas nas células de deposição de resíduos sólidos e de 0,02 ± 0,00 mg L⁻¹ para as amostras coletadas na lagoa de deposição

Tabela 1. Concentrações médias ± desvio padrão (n=2;) de Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn por período nas amostras de chorume do aterro do Aurá

Coletas	Pontos	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
		(mg L ⁻¹)						
Maio 2015	CC1	0,03±0,01	0,12±0,01	0,07±0,03	0,83±0,12	0,14±0,01	<LQ	0,55±0,08
	CC2	0,02±0,00	0,75±0,03	0,07±0,03	0,25±0,00	0,18±0,02	0,28±0,00	0,26±0,01
	CC3	0,02±0,01	0,13±0,01	0,16±0,01	0,80±0,15	0,12±0,00	<LQ	2,47±0,83
	CL4	0,02±0,01	0,09±0,00	0,07±0,00	0,25±0,12	<LQ	<LD	0,19±0,17
	CL5	0,01±0,01	<LQ	<LQ	0,22±0,01	<LQ	<LD	<LQ
	CL6	0,02±0,00	0,03±0,01	0,10±0,05	0,28±0,01	<LQ	<LD	0,28±0,14
Agosto 2015	CC1	0,01±0,00	0,16±0,01	0,08±0,01	0,76±0,01	0,26±0,05	<LD	0,58±0,15
	CC2	0,01±0,00	1,10±0,08	0,14±0,02	0,28±0,02	0,34±0,02	<LQ	0,33±0,02
	CC3	0,03±0,00	0,77±0,03	0,23±0,00	10,37±0,83	1,02±0,07	<LQ	1,34±0,07
	CL4	<LQ	0,12±0,03	0,05±0,02	0,37±0,02	0,16±0,06	<LD	0,87±0,19
	CL5	0,01±0,00	0,11±0,02	0,05±0,00	0,35±0,04	0,12±0,05	<LD	2,91±1,05
	CL6	0,01±0,00	0,12±0,00	0,05±0,01	0,36±0,06	0,13±0,02	<LQ	0,47±0,07
Dezembro 2015	CC1	<LD	0,12±0,03	0,26±0,00	0,65±0,03	0,44±0,01	<LQ	0,81±0,0
	CC2	0,01±0,00	0,34±0,06	0,21±0,04	0,82±0,06	0,18±0,01	0,17±0,06	1,52±0,20
	CC3	<LD	0,20±0,01	0,59±0,01	0,57±0,01	0,47±0,04	<LD	1,03±0,04
	CL4	<LD	0,08±0,03	0,33±0,02	0,44±0,03	0,36±0,08	<LQ	0,78±0,28
	CL5	<LQ	0,16±0,08	0,36±0,07	0,46±0,08	0,35±0,13	<LD	1,27±0,07
	CL6	<LD	0,11±0,01	0,37±0,02	0,49±0,02	0,37±0,01	<LD	0,62±0,09
Março 2016	CC1	<LD	0,14±0,13	0,05±0,00	0,45±0,08	0,17±0,00	2,07±0,00	0,40±0,14
	CC2	0,01±0,00	0,15±0,11	0,31±0,12	0,87±0,53	0,15±0,04	<LQ	1,50±0,16
	CC3	<LD	0,35±0,00	0,03±0,00	0,49±0,08	<LD	<LQ	0,41±0,36
	CL4	<LD	0,08±0,01	0,09±0,02	0,43±0,01	0,09±0,02	<LD	0,27±0,11
	CL5	<LD	0,12±0,10	0,09±0,01	0,44±0,01	<LQ	<LQ	0,39±0,02
	CL6	<LQ	0,06±0,00	0,11±0,00	0,50±0,02	0,11±0,08	0,29±0,03	0,36±0,01
Mínimo		0,01	0,03	0,03	0,22	0,09	0,17	0,19
Máximo		0,03	1,10	0,59	10,37	1,02	2,07	2,90
Média		0,02	0,24	0,17	0,91	0,27	0,70	0,85
Desv. Pad.		0,01	0,27	0,14	2,03	0,22	0,91	0,71
VMP		0,2	0,1	1,0	1,0	2,0	0,5	5,0

VMP: Valor máximo permitido em mg. L⁻¹ estabelecido para lançamento de efluentes em corpos de água receptores disposto da Resolução nº 430 do CONAMA²³. <LD: menor que o limite de detecção, <LQ: menor que o limite de quantificação.

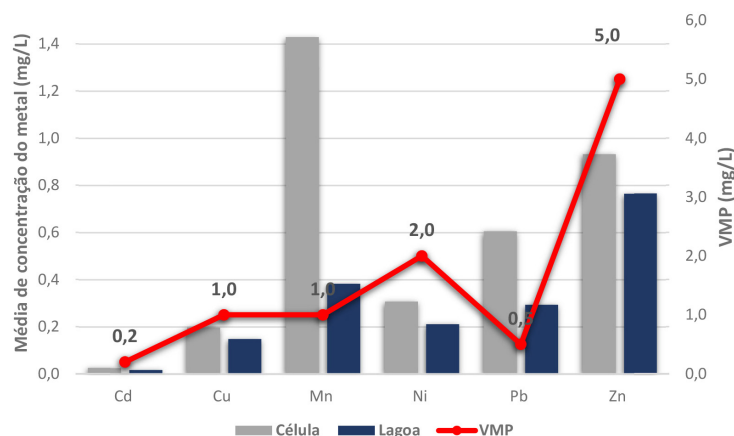


Figura 3. Distribuição das concentrações de Cd, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em comparação com o Valor Máximo Permitido -VMP (CONAMA n. 430/2011)

de chorume, condizente com os valores encontrados por Borges,²¹ no aterro não controlado de Maringá.

As concentrações de Cr total determinadas nas amostras de chorume coletadas nas células nos pontos CC1, CC2 e CC3 apresentaram valores variando de $0,12 \pm 0,00 \text{ mg L}^{-1}$ a $1,10 \pm 0,08 \text{ mg L}^{-1}$. Os resultados estão condizentes com os resultados encontrados nos aterros sanitários de Francisco Beltrão e Nova Esperança do Sudoeste, localizados no Paraná, que apresentaram valores de $0,65 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,78 \text{ mg L}^{-1}$ no chorume.¹⁰ Os resultados podem estar associados à influência dos rejeitos de curtumes existentes na RMB que foram depositados no aterro do Aurá. A análise de Cr, foi realizada na forma de Cr total, não houve a especiação do Cromo para que seja comparado com os VMP estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 430/2011 que apresenta valores na forma de Cr hexavalente ($0,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cr}^{+6}$) e Cr trivalente ($1,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cr}^{+3}$).

As concentrações do íon Cu variaram de $0,07 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,33 \pm 0,06 \text{ mg L}^{-1}$ para as amostras coletadas nas células e de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,16 \pm 0,08 \text{ mg L}^{-1}$ para as amostras coletadas na lagoa de deposição, ficando abaixo do VMP de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido pela Resolução CONAMA N° 430/2011. Estudos de Celere *et al.*⁶ apontam $0,60 \text{ mg L}^{-1}$ como a concentração máxima encontrada para o Cu no chorume do aterro sanitário de Ribeirão Preto.

O metal Mn apresentou concentrações abaixo do VMP de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido pela Resolução n.430/2009 do CONAMA.¹³ No entanto, observou-se que amostra coletada no ponto CC3 em agosto de 2015 apresentou concentração de $10,37 \pm 0,83 \text{ mg L}^{-1}$ muito superior as demais concentrações e ao limite máximo permitido de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, esse valor aumentou consideravelmente o valor do desvio padrão. Tal fato está associado a influência direta de aços, ligas metálicas, tintas, vernizes, fogos de artifícios, pilhas, palitos de fósforo e porcelanas que são as principais fontes de Mn, uma vez que os resíduos sólidos não são depositados de forma homogênea no aterro e podiam estar presentes a proximidade do ponto coletado.^{6,22,23}

Os teores de Ni encontram-se abaixo do preconizado pela Resolução N° 430/2011 do CONAMA que fixou o limite máximo em $2,0 \text{ mg L}^{-1}$. A maior concentração de $1,02 \pm 0,07 \text{ mg L}^{-1}$ foi determinada no ponto CC3, no mês de agosto, as demais concentrações apresentaram comportamentos semelhantes entre as amostras coletadas nas células e as coletadas na lagoa, durante todo o período sazonal estudado. Os valores estão semelhantes aos relatados por Hypolito e Ezaki²⁴ que ao estudarem metais potencialmente tóxicos em sistema solo-lixo-chorume encontraram concentrações médias de $0,39 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,57 \text{ mg L}^{-1}$ para o Ni em dois aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Os valores de Zn encontram-se abaixo do VMP estabelecido pela Resolução N° 430/2011 do CONAMA que fixou o limite

máximo em $5,0 \text{ mg L}^{-1}$. As maiores concentrações desse metal foi de $2,47 \pm 0,83 \text{ mg L}^{-1}$ na amostra coletada na célula e de $2,91 \pm 1,05 \text{ mg L}^{-1}$ na amostra coleta na lagoa de deposição. Esses valores estão semelhantes aos relatados por Hypolito e Ezaki²⁴ que, ao estudarem metais potencialmente tóxicos do sistema solo-lixo-chorume em dois aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), encontraram valores em torno de $2,62 \text{ mg L}^{-1}$ para o Zn.

O metal Pb apresentou concentração máxima de $1,04 \pm 1,47 \text{ mg L}^{-1}$ no ponto CC1 no período de março/2016, sendo superior ao VMP de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido pela Resolução N° 430/2011 do CONAMA. A ocorrência de Pb na amostra de chorume coletado no ponto CC1, pode estar associada à presença de pilhas e baterias, canos de antigos sistemas de distribuição de água, tintas, tabacos, vidros, que foram dispostos no aterro sanitário. Os sais de chumbo formam a base de muitas tintas que fornecem pigmento branco, amarelo, laranja, vermelho e verde.²⁵

As baixas concentrações dos íons metálicos encontradas no aterro do Aurá, estão condizentes com os resultados de outros autores.^{6,10,25}

O chorume proveniente de aterros recentes é frequentemente caracterizado por altos níveis de ácidos orgânicos, amônia e sólidos totais dissolvidos, mas grande parte da massa biodegradada é fragmentada com o tempo e a concentração destes parâmetros decresce no chorume de aterros antigos.²⁶

Na maioria dos aterros sanitários, o chorume é composto pelo líquido que entra na massa aterrada de lixo advindo de fontes externas, tais como sistemas de drenagens superficiais, chuva, lençol freático, nascentes e aqueles resultantes da decomposição do lixo.²⁷

Estudos de Hypolito e Ezaki²⁴ afirmam que aterros antigos apresentam baixos teores de íons de metais no chorume, devido sua retenção no solo, uma vez que as condições no aterro devido ao pH alcalino favorece a precipitação de metais na forma de sulfetos, sulfatos, carbonatos e óxi-hidróxidos. As concentrações médias dos metais (Cd, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em mg/L) em amostras de chorume e as comparações com o Valor Máximo Permitido -VMP (CONAMA n. 430/2011) para cada metal podem ser visualizadas na Figura 3.

CONCLUSÕES

Devido ao tempo de funcionamento do aterro, o chorume apresentou pH alcalino, o que favorece a precipitação e complexação de metais. Esse fato influencia na concentração dos metais no chorume e pode torná-la não representativa do montante que realmente há no aterro.

As concentrações dos metais Cd, Cu, Ni e Zn determinados nas amostras de chorume nas células e na lagoa estão abaixo do limite para

lançamento de efluente em corpo receptor estabelecido na Resolução nº 430/2009 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Comparando as concentrações dos metais no chorume em relação aos pontos de amostragens nas células e na lagoa, percebe-se concentrações mais elevadas nas bases das células do que na lagoa de deposição de chorume, possivelmente em decorrência do efeito de diluição na lagoa de deposição de chorume provocada pelo acúmulo de água das chuvas.

Os resultados não apresentaram significativas influências nas concentrações dos metais entre os períodos sazonais mais chuvoso e menos chuvoso.

REFERÊNCIAS

1. ABRELPE (Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) In *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*, 2020.
2. Riguetti, P. F.; Cardoso, C. A. L.; Cavalheiro, A. A. Lenzi, E.; Fiorucci, A. R.; Silva, M. S. *Rev. Ambient. Água* **2015**, *10*, 154. [Crossref]
3. Cardoso, E. L.; Ferreira Filho, H. R.; Santos, V. C. P.; Ferreira, A. O.; *Revista S&G* **2020**, *15*, 93. [Crossref]
4. Morais, J. L.; Sirtori, C.; Zamora, P. P.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 20. [Crossref]
5. Sisinho, C. L. S.; *Cadernos de Saúde Pública* **2003**, *19*, 369. [Crossref]
6. Celere, M. S.; Oliveira, A. S.; Trevilato, T. M. B.; Muñoz, S. I. S.; *Cad. Saúde Pública* **2007**, *23*, 939. [Crossref]
7. Korf, E. P.; Melo, E. F. R. Q.; Thomé, A.; Escosteguy, P. A. V.; *Revista de Ciências Ambientais* 2008, *2*, 43.
8. Instituto de Pesquisa Tecnológicas (IPT); *Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*, Ed. Cempre: São Paulo, 1995.
9. Christensen, T. H.; Bjerg, P.; Jensen, D. L.; Christensen J. B.; Christensen, A.; Baun, A.; Albrecgtsen, H. J.; Heron, G.; *Appl. Geochem.* 2001, *16*, 659. [Crossref]
10. Cort, E. P. D.; Alberti, V.; Rotta, M.; Becegato, V.; Machado, W. C. P.; Onofre, S. B.; *Geoambiente* **2008**, *11*, 103.
11. Santo, V. C. P.; *Revista de Direito da Cidade* **2014**, *6*, 65. [Crossref]
12. Baun, A.; Reitzel, L. A.; Ledin, A.; Christensen, T. H.; Bjerg, P. L.; *J. Contam. Hydrol.* **2003**, *2*, 1916. [https://doi/10.1016/j.watres.2004.07.006]
13. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011, Brasília, Brasil.
14. Alleoni, L. R. F.; Fernandes, A. R.; Santos, S. N.; *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo* **2013**, *38*, 18.
15. SEICOM/IBGE.; *Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas*, Relatório final, Belém, SEICOM, 1995, 157 p.
16. Bahia, V. E.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Pará, Brasil, 2003.
17. Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN); *Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos*, 2014, novembro.
18. Souto, G. D. B.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2009.
19. Kjeldsen, P.; Barlaz, M. A.; Rooker, A. P.; Baun, A.; Ledin, A.; Christensen, T. H.; *Rev. Environ. Sci. Technol.* **2002**, *32*, 297. [Crossref].
20. Sodré, F. F.; Lenzi, E.; Costa, A. C. S.; *Quim. Nova* **2001**, *24*, 324. [Crossref]
21. Borges, M. E. E.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2006.
22. Morais, J. L.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2005.
23. Barros, R. G.; Dias, P. P.; Araújo, V. K. A.; *Revista Eletrônica em Gestão Educação e Tecnologia Ambiental* **2015**, *19*, 73. [Crossref].
24. Hypolito, R.; Ezaki, S.; *Águas Subterrâneas* **2006**, *20*, 99. [Crossref]
25. Nagashima, L. A.; Barros Júnior, C.; Araújo, C. C.; Silva, E. T.; Hoshika, C.; *Acta Sci., Technol.* **2011**, *33*, 39. [Crossref].
26. Moreira, C. A.; Braga, A. C. O.; Hansen, M. A. F.; *Revista Brasileira de Geociências* **2011**, *41*, 549.
27. Segato, L. M.; Silva, C. L.; *Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto Alegre, Brasil, 2000.