

INFLUÊNCIA DO ATERRO MUNICIPAL DE MANAUS SOBRE AS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA CIRCUNVIZINHANÇA: UM ENFOQUE AO ESTUDO DE METAIS PESADOS

Dorian Lesca de Oliveira
dorylesca@yahoo.com.br

Profa. M. Sc. do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

Genilson Pereira Santana

Prof. Dr. da Universidade Federal do Amazonas
gsantana@ufam.edu.br

RESUMO

Este estudo analisou as concentrações de metais pesados (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) por espectrometria de absorção atômica de chama (FAAS) e variáveis físico-químicas (pH, condutividade elétrica e temperatura) *in situ* em amostras de águas superficiais da circunvizinhança do Aterro Municipal de Manaus e chorume. Amostras de água e chorume foram coletadas no período de estiagem e chuvoso com o objetivo de verificar a influência antrópica sobre o sistema hídrico composto pelos Igarapés: Matrinxã, Aracu, Acará, e Bolívia. Os dados obtidos foram submetidos a duas análises estatísticas exploratórias: Análise de Componente Principal (PCA) e Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA). Os resultados indicaram concentrações de metais pesados distintos conforme a estação do ano e elemento. A PCA revelou correlações significativas entre: Al, Cd, Fe, Mn, Ni e Pb assim como Zn e Co. A HCA e PCA mostraram que as características do sistema hídrico são semelhantes ao chorume na estiagem.

Palavras-chave: Aterro, Chorume, Metais Pesados e Água.

INFLUENCE OF THE MANAUS MUNICIPAL LANDFILL ON NEIGHBORHOOD WATER SURFACE: A FOCUS ON HEAVY METAL STUDY

ABSTRACT

This study analyzed the concentrations of heavy metals (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) and physico-chemical variable (pH, electric conductivity, and temperature) *in situ* in surface water samples located around the neighborhood of Manaus Municipal Landfill and leachate. Water and leachate samples were collected in rainy and dry season with aim to verify the anthropogenic influence on hydric system comprised by Matrinxã, Aracu, Acará, and Bolívia Igarapés (narrower water channels). The results were obtained submitted to two exploratory statistical analyses: Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Analysis (HCA). The findings indicated heavy metal concentrations distinct according to season and element. PCA revealed meaningful correlations among Al, Cd, Fe, Mn, Ni, and Pb and Zn and Co. The HCA and PCA showed that the characteristics of the hydric system are similar to leachate in dry season.

Keywords: Landfill, Leachate, Heavy Metal and Water.

INTRODUÇÃO

A disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos constitui uma das principais preocupações para a sociedade, tendo em vista, os impactos ocasionados ao ambiente e a saúde pública (OLIVEIRA, 2004; DE DEUS e LUCA, 2004). A problemática dos resíduos sólidos urbanos envolve basicamente o poder público e a sociedade. Infelizmente, o poder público, na maioria das vezes, não dispõe de uma política de gerenciamento adequada de resíduos, por outro lado, falta informação e sensibilização por parte da sociedade.

Recebido em 17/07/2009

Aprovado para publicação em 15/07/2010

A quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados por dia no Brasil corresponde a cerca de 230.000 ton., cujos principais constituintes são: matéria orgânica, papéis, vidros, plásticos e metais. E as formas de destino final para todos esses resíduos variam conforme a região geográfica do país (IBGE, 2008).

A cidade de Manaus até o ano de 2005, apresentava como forma de destino final para os resíduos sólidos urbanos um aterro do tipo controlado, onde os resíduos depositados eram espalhados, compactados e dispostos em camadas, intercaladas com solo argiloso retirado das proximidades do local formando células. Neste lugar eram recebidos resíduos sólidos oriundos de domicílios, hospitais, indústrias, feiras, mercados e de serviços complementares, realizados pela prefeitura (capinação, varrição, jardinagem e limpeza de igarapés). Assim como, restos de podas de árvores e resíduos provenientes de feiras e mercados que seguiam para a compostagem (OLIVEIRA, 2007).

O Aterro Municipal de Manaus foi projetado para comportar uma produção média diária de até 980 ton. dia⁻¹, o que permitiria uma vida útil de cerca de 20 anos (BARRONCAS, 1999). Excepcionalmente até o ano de 2005, o aterro recebia mais que o dobro da capacidade máxima de resíduos prevista no seu projeto inicial (SMLSP, 2006), além de continuar em pleno funcionamento há 21 anos. Ao relacionar idade, quantidade de resíduos recebidos diariamente e área ocupada pelo aterro, verifica-se que as necessidades de disposição final de resíduos sólidos de Manaus não são mais adequadas.

Dentre os vários componentes impactantes presentes nesse Aterro, o chorume destaca-se, pois escoar livremente para o sistema hídrico da circunvizinhança. Esse componente é originário da decomposição dos resíduos sólidos que ao escorrer livremente no ambiente alcança os sistemas hídricos superficiais e subterrâneos, desta forma comprometendo a qualidade da água e, por conseguinte, seu uso (SISSINO, 1996). O chorume causa efeitos adversos no solo, mesmo a distâncias superiores a 100 m de um aterro, assim como alterações na biota aquática, principalmente nas imediações da descarga (CHRISTENSEN et al, 2001, BAUN et al., 2003), além de afetar direta ou indiretamente todas as formas de vida (CELERE, 2007).

Sendo assim, este estudo teve como objetivo estudar os metais pesados (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) e algumas variáveis físico-químicas (pH, condutividade elétrica e temperatura) em dois períodos sazonais (seca e chuvoso) em amostras de chorume (dreno e lagoas) localizados no Aterro Municipal de Manaus, e águas coletadas na sua circunvizinhança onde existem diversos núcleos populacionais e balneários muito freqüentados pela população.

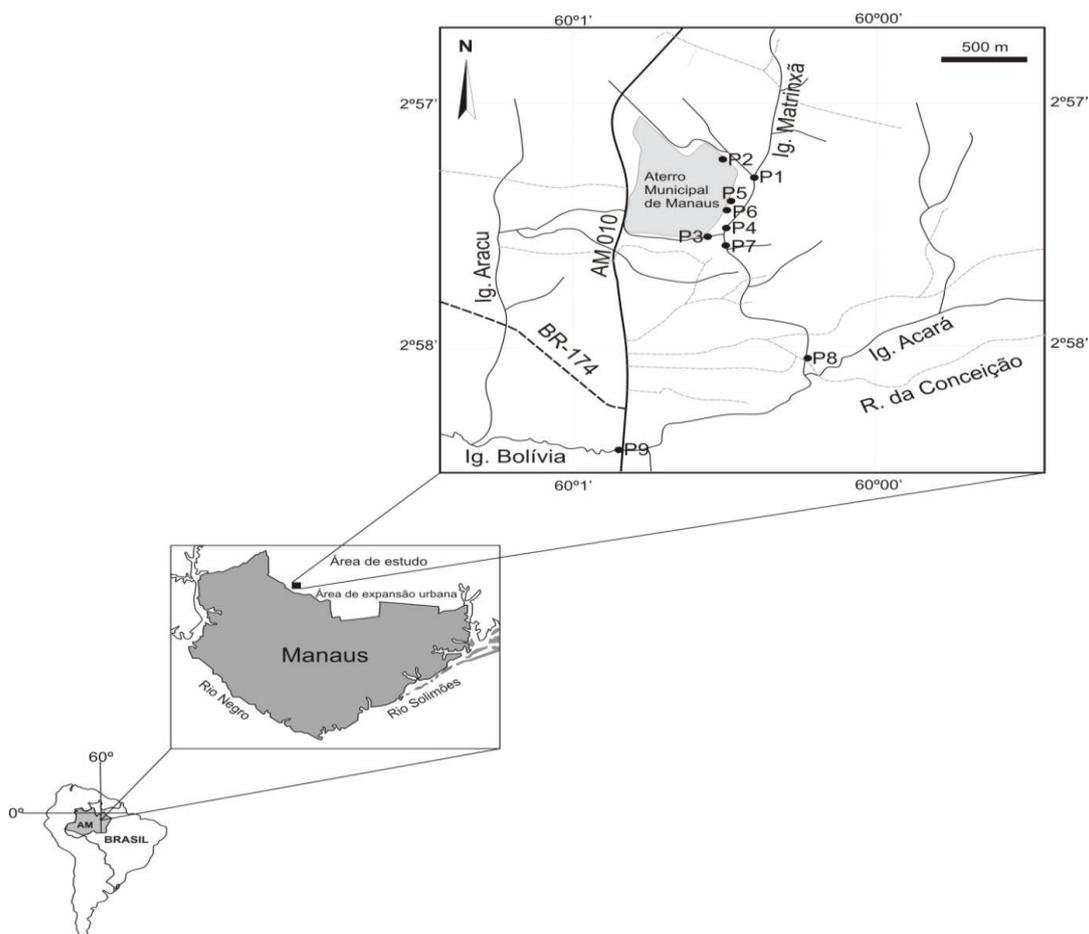
MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Aterro Municipal de Manaus, cujas atividades iniciaram em 1986, está localizado no km-19 da rodovia estadual AM-010 (Manaus-Itacoatiara), a margem direita do Igarapé do Matrinxã, que juntamente com os Igarapés Aracu, Acará e Bolívia formam o sistema hídrico dessa região (Figura 1).

Ao leste e ao norte o aterro está situado no vale do Igarapé Matrinxã; ao sul por um pequeno tributário deste mesmo Igarapé, e ao oeste pela rodovia AM-010. Uma pequena porção do terreno, mais próxima à rodovia, é drenada por um braço do Igarapé Aracu, afluente do Igarapé da Bolívia.

A região onde se encontra o Aterro apresenta: (i) relevo formado por colinas com altitudes em torno de 50 m com até 150 m de extensão, topos aplanados e vales em V; (ii) cobertura vegetal típica de floresta tropical em parte preservada na cabeceira do Igarapé Bolívia, o restante da área está mais desmatada em consequência da maior densidade populacional (SANTOS et al., 2006).



Fonte: Marmos; de Aguiar (2006) (Adaptado por DIAS 2007).

Figura 1 - Localização da área de estudo e pontos de coletas (P1-P9)

Até o ano de 2005, grande parte dos resíduos destinados ao Aterro era proveniente da coleta domiciliar, totalizando aproximadamente 988 ton. dia⁻¹, o que correspondia a 45,7% dos resíduos recebidos diariamente (SMLSP, 2006). A composição gravimétrica dos resíduos era bastante diversificada sendo constituído principalmente por matéria orgânica (STROSKI 2002). No Aterro Municipal de Manaus não havia nenhum tratamento para o chorume produzido e nem drenagem dos gases formados. A cobertura dos resíduos era realizada ao final de cada operação diária e não era suficiente para evitar a proliferação de vetores (SANTANA e BARRONCAS, 2007).

Amostragem e procedimento *in situ*

Foram escolhidos nove pontos de coletas dentro e fora do aterro, sendo os pontos referentes a um dreno (P2), lagoas (P5 e P6), igarapés: Matrinxã (P1, P4, P5 e P7), Aracu (P3), Acará (P8), e Bolívia (P9). As coletas foram realizadas nos meses de setembro e outubro de 2005 (período de estiagem), dezembro e janeiro de 2005 e 2006, respectivamente (período chuvoso).

As amostras de água e chorume foram coletadas nas superfícies dos igarapés e lagoas entre 25 e 30 cm de profundidade e também diretamente de um dreno de chorume que escoava livremente pelo aterro. Em cada ponto foi coletado 1 L de amostra, em um recipiente de polietileno, previamente esterilizado com solução de ácido nítrico a 10%. Após a mistura, os valores de pH, condutividade e temperatura foram medidos *in situ*, utilizando-se pHmetro digital WTW 330i e condutivímetro Lutron CD-4303 ambos com termômetros digitais acoplados.

Determinação da concentração metais pesados dissolvidos

Alíquotas de 100 mL de água e chorume foram previamente filtradas em membrana de 0,45 µm de poro e 47 mm de diâmetro sendo transferidas para béqueres de 250 mL e pré-concentradas 4 vezes juntamente com 10 mL de ácido nítrico bidestilado 100 °C (SANTANA e BARRONCAS, 2007). Em seguida, as concentrações dos metais pesados foram determinadas por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama: (i) Chama de Ar/Acetileno para: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn e (ii) Chama de Óxido Nitroso/Acetileno para Al e Ba ambos pelo método direto com corretor de fundo em espectrômetros da GBC Scientific Equipment, modelo: 932-B Plus (chama de ar/acetileno) e modelo: Avanta Sigma (chama de óxido nitroso/acetileno). As medidas foram feitas nos comprimentos de onda (nm) e limites de detecção (mg L⁻¹), respectivamente: Al (396,2 e 0,137), Ba (553,6 e 0,045), Cd (228,8 e 0,002), Co (240,7 e 0,012), Cr (357,9 e 0,012), Cu (324,7 e 0,006), Fe (248,3 e 0,012), Mn (279,8 e 0,005), Ni (232,0 e 0,010), Pb (283,3 e 0,040) e Zn (213,9 e 0,002).

Tratamento estatístico

A análise estatística multivariada: Componentes Principais (PCA) e Agrupamento Hierárquico (HCA) foram utilizadas neste trabalho, pois permitem segundo Correia e Ferreira et al. (2007) e Santana e Barroncas (2007):

(i) reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados original, preservando a maior quantidade de informação possível.

(ii) agrupar as amostras em classes, baseando-se na similaridade dos participantes de uma mesma classe e nas diferenças entre os membros de classes diferentes.

O PCA é um método exploratório que auxilia na elaboração de hipóteses gerais a partir de dados coletados. É capaz também de separar as informações importantes das redundantes e aleatórias. No PCA, o agrupamento das amostras define a estrutura dos dados em gráficos de *scores* e *loadings*, cujos eixos onde os dados são projetados correspondem às componentes principais (PCs). Os *scores* fornecem a composição das PCs em relação às amostras, enquanto os *loadings* fornecem essa mesma composição em relação às variáveis. Como as PCs são ortogonais, é possível examinar as relações entre amostras e variáveis por meio dos gráficos dos *scores* e dos *loadings*. Os *scores* e *loadings* permitem, ainda, estimar a influência de cada variável em cada amostra.

No PCA é obtida também a matriz de correlação das variáveis (C), que corresponde a uma matriz simétrica ($r_{12} = r_{21}$) cujos elementos da sua diagonal principal são iguais a 1.

$$C = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ r_1 & r_2 & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Além dessas características, a matriz C contém os coeficientes de correlação entre as variáveis que expressam o grau de relacionamento entre as variáveis, conhecido como coeficiente de correlação *r* ou de *Pearson*.

Os coeficientes de correlações são úteis para a interpretação dos dados, pois são valores que quantificam o grau de correlação, ou seja, indicam até que ponto os valores das variáveis estão relacionadas com os valores das outras variáveis. Neste caso, o coeficiente de correlação *r* tem duas propriedades que caracterizam a natureza de uma relação entre as variáveis, uma é o seu sinal (+ ou -) e a outra é a sua grandeza.

O sinal é o mesmo que o do coeficiente angular de uma reta imaginária que se ajustasse aos dados estão os pontos individuais. Valores de *r* próximos de -1 ou +1 indicam que os valores das observações estão muito próximos da reta, ou mesmo sobre ela, enquanto que os valores mais próximos de 0 sugerem maior dispersão. O coeficiente de correlação *r* da amostra varia entre -1 e 1.

O valor de *r* igual a 1 mostra uma relação linear positiva perfeita entre X e Y. Isto significa que, quando X aumenta, Y aumenta linearmente e que, quando X diminui, Y diminui linearmente. De modo idêntico, um valor de *r* igual a -1 indica uma relação linear negativa perfeita entre X e Y.

Entretanto, se o valor de r é igual a 0, as duas variáveis X e Y são não-correlacionadas linearmente, embora possam ter um outro tipo de relação. Portanto, um valor de r próximo a 0 indica que o relacionamento linear entre as variáveis é praticamente nulo.

No HCA a representação gráfica é chamada de dendrograma e corresponde a um gráfico bidimensional independentemente do número de variáveis do conjunto de dados de maneira a enfatizar os seus agrupamentos. A distância entre os pontos (amostras ou variáveis) reflete a similaridade de suas propriedades. Existem várias maneiras de procurar agrupamentos no espaço n -dimensional, que possam definir uma similaridade, sendo que a mais simples e utilizada consiste em agrupar os pares de pontos que estão mais próximos, utilizando a distância Euclidiana - D_{ik} (ALMEIDA, 2007).

$$D_{ik} = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{ij} - x_{kj})^2}$$

Em que x_{ij} e x_{kj} são os valores das variáveis j para as amostras i e k ; n = número de variáveis. Os pares de pontos que estão mais próximos são agrupados usando o cálculo da distância Euclidiana, sendo formado um novo ponto que é localizado na metade da distância entre eles. Este procedimento é repetido até que todos os pontos sejam agrupados em um só, leva a construção do dendrograma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, os resultados das análises químicas (metais pesados) e variáveis físico-químicas (pH, condutividade elétrica e temperatura) indicaram um comportamento aleatório nas proximidades da região do Aterro Municipal de Manaus. Este comportamento se deve ao fato de que o Aterro possuía células já encerradas e outras, em atividades, o que ocasionou diferentes estágios de decomposição dos resíduos. Dessa forma, o chorume que entrou em contato com o sistema hídrico é de composição físico-química bastante diversificada, o que provavelmente interferiu nas características físico-químicas das águas. Além disso, algumas células apresentavam fraturas, deixando os resíduos expostos que acabavam sendo direcionados ao Igarapé Matrinxã. Como não havia um sistema de armazenamento e tratamento, o chorume era despejado diretamente também no Igarapé Matrinxã.

Outra particularidade da área estudada são as variações nos parâmetros analisados em diferentes períodos pluviométricos, que em determinada época do ano provocam diluições acentuadas de seus corpos hídricos. Assim, alterações naturais nas propriedades físicas e químicas das águas da região do aterro são bastante comuns (CLETO, 2003 e MELO, 2005). Portanto, essas características aliadas à falta de tratamento de chorume explicam a grande variação nos valores mínimos e máximos das variáveis analisadas, peculiaridade refletida nos valores médios e desvio-padrão. Em termos gerais, os valores de pH variaram entre 6,2 e 8,8 durante todo o período de estudo (Tabela 1). Particularmente nos pontos de coleta P2, P5 e P6, os valores de pH indicaram predominância de chorume na fase metanogênica (LO, 1996). Dependendo do local de amostragem, foi observado que os valores de pH e condutividade apresentaram tendências a aumentar nos pontos de coletas (P2, P3, P5 e P6) ou diminuir nos demais.

As concentrações de Al, As, Cd, Fe e Pb nas amostras de água nos diferentes períodos sazonais encontraram-se acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA (resolução nº 357/2005) para águas doces de classe 1 e 2. Particularmente, para o Al a concentração diminuiu no período chuvoso, tanto nas águas superficiais quanto nas lagoas de chorume. O Cd aumentou de concentração no período chuvoso, tanto para as amostras de chorume provenientes do dreno e lagoas quanto nas de águas provenientes do sistema hídrico da região do Aterro. O Fe diminuiu de concentração no período chuvoso nos P1, P2, P4, P6, P7 e P8, enquanto que nos P3 e P9 aumentaram. O P5 no período chuvoso apresentou alto valor para o desvio-padrão, que pode ser atribuído a um comportamento típico de despejos pontuais. A concentração de Pb aumentou em todos os pontos amostrados no período chuvoso, indicando que este seja um período crítico devido às oscilações bruscas na concentração do elemento.

Tabela 1

Valores de pH e condutividade elétrica (S) encontrados águas superficiais da região do aterro sanitários

Época da coleta	Pontos de coletas	pH	S ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Verão	P1	7,0 \pm 0,2	620,5 \pm 146,4
	P2	8,0 \pm 0,6	8.239,5 \pm 1771,3
	P3	7,4 \pm 0,4	1.817,5 \pm 1375,3
	P4	7,0 \pm 0,1	494,0 \pm 8,5
	P5	7,3 \pm 0,1	1.854,0 \pm 719,8
	P6	8,2 \pm 0,7	4.464,5 \pm 3918,1
	P7	7,1 \pm 0,1	1.307,0 \pm 1173,8
	P8	7,0 \pm 0,2	506,5 \pm 14,8
	P9	7,3 \pm 1,4	62,0 \pm 10,0
Inverno	P1	6,6 \pm 0,3	534,5 \pm 37,5
	P2	8,4 \pm 0,6	12.150,5 \pm 3648,0
	P3	7,6 \pm 0,1	2.714,5 \pm 352,8
	P4	6,8 \pm 0,1	459,0 \pm 63,6
	P5	7,6 \pm 0,4	2.130,5 \pm 600,3
	P6	8,3 \pm 0,1	4.703,0 \pm 103,2
	P7	6,8 \pm 0,1	523,5 \pm 50,2
	P8	6,8 \pm 0,1	435,5 \pm 9,2
	P9	6,2 \pm 0,1	57,9 \pm 7,2

Média \pm desvio-padrão de quatro coletas

A concentração do Ni também esteve acima dos valores aceitáveis pelo CONAMA, somente em alguns pontos de coleta. As concentrações de Ni foram elevadas durante o período chuvoso, principalmente nos P2, P3, P4, P7 e P8. O mesmo ocorreu para o Mn nos P2 e P3. Nos P1 e P9, no caso do Ni e nos demais pontos de coleta para o Mn, a concentração esteve abaixo do limite de detecção do método nas amostras coletadas durante a estiagem. O Co, Cu e Zn encontram-se distribuídos de forma pontuais, em que a maioria dos pontos de coleta a concentração destes metais estavam abaixo do limite de detecção do método. Porém, no P7 no período chuvoso o Co apresentou um pico de concentração elevada, representado pelo alto valor do desvio-padrão. O Cu teve sua maior concentração no dreno e na lagoa (P6) de chorume no período chuvoso. A concentração de Zn aumentou no período chuvoso no P2 e diminuiu no P6. Contudo, no P5, durante a estiagem, o valor de desvio-padrão indica bruscas descargas de Zn entre uma coleta e outra. Nos demais pontos de coleta a sua concentração esteve abaixo do limite de detecção do método exceto no P3 no período chuvoso.

A partir das médias aritméticas das variáveis físico-químicas e concentração de metais, obtidas durante os dois períodos amostrados, aplicaram-se PCA e HCA. O PC1 e PC2 explicam 69,9 e 11,9%, respectivamente, o que representa 81,8% das variâncias. A matriz dos coeficientes de correlação de Pearson é caracterizada por um $r > 0,840$ para os metais: Al-Cd (0,957), Al-Fe (0,98), Al-Mn (0,84), Al-Ni (0,86), Al-Pb (0,968), As-Cd (0,99), Cd-Fe (0,99), Cd-Mn (0,93), Cd-Ni (0,91), Cd-Pb (0,98), Fe-Mn (0,90), Fe-Ni (0,91), Fe-Pb (0,99), Mn-Ni (0,89), Mn-Pb (0,88) e Ni-Pb (0,92). As correlações obtidas para Ni, Pb, Cd com Al, Fe, Mn indicam os metais provenientes de fontes naturais e de atividade antrópica.

O gráfico de PC1 *versus* PC2 e o dendrograma são caracterizados por um agrupamento formado pelos pontos amostrados no período de estiagem (exceto o P1) e por dispersão dos demais pontos no período chuvoso (Figura 2). Essa característica demonstra que durante o período seco as águas da região mantêm as mesmas propriedades físicas e químicas; ou seja, o efeito da poluição oriunda do chorume se estende por toda a bacia. No período chuvoso, observa-se uma dispersão dessa poluição por todos os dos pontos de coleta. Esse fato indica que o aumento de volume das águas superficiais da região do Aterro causa um efeito considerável na distribuição dos metais analisados. O aumento de volume de água representa também aumento na quantidade de partículas sólidas, conseqüentemente no sistema aquático da região há uma concorrência em termos de adsorção/complexação entre os colóides inorgânicos e orgânicos. O primeiro formado pelas partículas sólidas carregadas pelas chuvas e o segundo pelo chorume.

Tabela 2

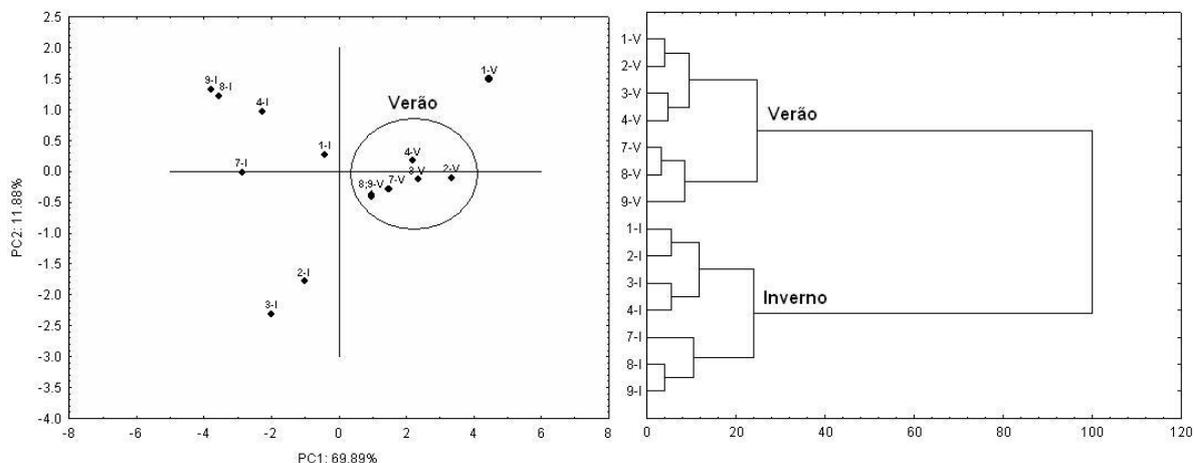
Concentração de metais pesados ($\mu\text{g mL}^{-1}$) encontrados no sistema hídrico da região do aterro sanitário.

PC	Al	As	Cu	Co	Cd	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
VERÃO										
P1	0,645 ± 0,436	1,334 ± 0,030	N.D.	0,008 ± 0,002	0,008 ± 0,003	0,386 ± 0,106	N.D.	N.D.	0,032 ± 0,027	N.D.
P2	0,775 ± 0,073	1,459 ± 0,146	0,008 ± 0,006	0,018 ± 0,007	0,005 ± 0,001	3,384 ± 2,353	0,081 ± 0,026	0,071 ± 0,033	0,058 ± 0,015	0,048 ± 0,020
P3	0,238 ± 0,110	1,746 ± 0,438	0,004 ± 0,003	N.D.	N.D.	1,030 ± 0,504	0,015 ± 0,002	0,023 ± 0,000	0,046 ± 0,035	N.D.
P4	0,635 ± 0,446	1,886 ± 0,493	N.D.	N.D.	0,005 ± 0,003	0,492 ± 0,206	N.D.	0,012 ± 0,002	0,040 ± 0,026	N.D.
P5	2,138 ± 1,461	2,117 ± 0,635	0,003 ± 0,001	N.D.	0,010 ± 0,010	2,622 ± 3,270	N.D.	0,026 ± 0,010	0,066 ± 0,017	0,022 ± 0,030
P6	2,224 ± 1,684	2,130 ± 0,824	N.D.	N.D.	0,016 ± 0,006	0,756 ± 0,131	N.D.	0,065 ± 0,051	0,074 ± 0,014	0,029 ± 0,014
P7	0,591 ± 0,176	1,750 ± 0,595	0,005 ± 0,003	N.D.	0,007 ± 0,004	0,549 ± 0,226	N.D.	0,014 ± 0,003	0,078 ± 0,006	N.D.
P8	0,648 ± 0,209	1,988 ± 0,550	0,007 ± 0,002	N.D.	0,007 ± 0,003	0,543 ± 0,010	N.D.	0,020 ± 0,005	0,067 ± 0,038	N.D.
P9	N.D.	2,154 ± 0,445	0,007 ± 0,002	N.D.	0,009 ± 0,003	0,588 ± 0,324	N.D.	N.D.	0,074 ± 0,022	N.D.
INVERNO										
P1	0,619 ± 0,114	1,676 ± 0,066	0,004 ± 0,001	N.D.	0,013 ± 0,005	0,322 ± 0,050	0,006 ± 0,002	0,021 ± 0,005	0,108 ± 0,018	N.D.
P2	0,791 ± 0,858	1,688 ± 0,131	0,010 ± 0,005	N.D.	0,014 ± 0,005	2,440 ± 1,385	0,121 ± 0,105	0,096 ± 0,040	0,142 ± 0,019	0,058 ± 0,026
P3	0,264 ± 0,312	1,545 ± 0,183	N.D.	0,011 ± 0,007	0,015 ± 0,006	3,374 ± 2,551	0,059 ± 0,039	0,027 ± 0,010	0,125 ± 0,030	0,014 ± 0,000
P4	0,629 ± 0,171	1,718 ± 0,017	N.D.	N.D.	0,017 ± 0,007	0,401 ± 0,072	0,005 ± 0,003	0,026 ± 0,009	0,121 ± 0,017	N.D.
P5	0,206 ± 0,081	1,345 ± 0,408	0,003 ± 0,001	0,015 ± 0,006	0,018 ± 0,005	0,228 ± 0,058	0,012 ± 0,001	0,024 ± 0,008	0,131 ± 0,019	0,006 ± 0,003
P6	1,013 ± 0,324	1,769 ± 0,368	0,010 ± 0,004	N.D.	0,018 ± 0,004	0,478 ± 0,136	0,020 ± 0,002	0,048 ± 0,003	0,133 ± 0,015	0,018 ± 0,006
P7	0,382 ± 0,259	1,364 ± 0,026	0,003 ± 0,001	0,006 ± 0,007	0,017 ± 0,006	0,443 ± 0,136	0,007 ± 0,003	0,025 ± 0,014	0,128 ± 0,023	N.D.
P8	0,334 ± 0,242	1,418 ± 0,126	N.D.	N.D.	0,018 ± 0,006	0,511 ± 0,124	0,008 ± 0,003	0,029 ± 0,006	0,133 ± 0,022	N.D.
P9	1,555 ± 0,373	1,218 ± 0,341	N.D.	N.D.	0,020 ± 0,003	0,595 ± 0,043	0,004 ± 0,001	0,026 ± 0,008	0,128 ± 0,020	N.D.

PC = ponto de coleta. Média ± desvio-padrão de duas coletas. ND = não-detectados

Figura 2

PC scores (à esquerda) e dendrograma (à direita) relativos à concentração de metais pesados.



CONCLUSÃO

A distribuição de metais pesados pelo sistema hídrico da região do Aterro Sanitário de Manaus é caracterizada por ter dois comportamentos distintos de acordo com a estação sazonal. Além disso, Al, Cd, Fe e Pb são aqueles metais pesados cujas concentrações se encontram acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a Fapeam pelo subsídio à pesquisa, a Secretaria Municipal de Limpeza e Serviços Públicos (SEMULSP) pela autorização para a coleta das amostras de chorume e água na área do Aterro Municipal de Manaus, a EMBRAPA-Amazônia Ocidental e UFAM pela realização das análises químicas de metais pesados, aos geólogos José Luiz Marmos e Benícia de Almeida Dias pelo auxílio na elaboração do mapa da localização da área em estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.A.S. *et al.* Improving hierarchical cluster analysis: A new method with outlier detection and automatic clustering. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, vol. 87, p. 208-217, 2007.
- BARRONCAS, P.S.R. Estudo da concentração de metais pesados nos Igarapés Matrinxã, Acará, Bolívia, Tarumã (Manaus-AM) por metais pesados. **Dissertação de Mestrado**. Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 1999.
- BAUN, A. *et al.* Natural attenuation of xenobiotic organic compounds in a landfill leachate plume (Vejen, Denmark). **Journal of Contaminat Hydrology**, vol. 65, p. 269-291, 2003.
- CELERE, M.S. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, vol. 23, p. 939-947, 2007.
- CHRISTENSEN, T. *et al.* Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, vol. 16, p. 659-718, 2001.
- CLETO, S.E.N.F. Urbanização, poluição e biodiversidade na Amazônia. **Ciência Hoje**, vol. 33, p. 72-75, 2003.

- CORREIA, P.R.M.; FERREIRA, M.M.C. Reconhecimento de padrões por métodos não supervisionados: explorando procedimentos quimiométricos para tratamento de dados analíticos. **Química Nova**, vol. 30, p. 481-487, 2007.
- DE DEUS, A.B.S. *et al.* Índice de impacto dos resíduos sólidos urbanos na Saúde pública (IIRSP): metodologia e aplicação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 9, p. 329-334, 2004.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acessado em: jan. 2008.
- LO, I.M.C. Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills. **Environment International**, vol. 22, p. 433-442, 1996.
- MARMOS, J. L.; DE AGUIAR, C. J. B. Diagnóstico e avaliação da contaminação dos recursos hídricos na área do entorno do Aterro Sanitário de Manaus (AM). In: **AUDIÊNCIA PÚBLICA**, Manaus, 2006.
- MELO, E.G.F. *et al.* Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus-AM. **Caminhos de Geografia**, vol. 5, p. 40-47, 2005.
- MOITA, J.M.N.; MOITA, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, vol. 21, p. 467-469, 1998.
- OLIVEIRA, D.L. Influência do Aterro Municipal de Manaus nas águas superficiais da circunvizinhança: um enfoque ao estudo de metais pesados. **Dissertação de Mestrado**, Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 2007.
- OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 9, p. 240-249, 2004.
- SANTANA, G.P; BARRONCAS, P.S.R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu, Manaus-AM. **Acta Amazonica**, vol. 37, p. 109-116, 2007.
- SANTOS, I. N. *et al.* Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do Rio Tarumã e afluentes - AM. **Acta Amazonica**, vol. 36, p. 229-236, 2006.
- SISSINO, C.L.S.; MOREIRA, J.C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, vol. 12, p. 515-523, 1996.
- SEMULSP - Secretaria Municipal de Limpeza e Serviços Públicos. Relatório semestral de coleta e disposição final de resíduos sólidos no Aterro Municipal de Manaus. Prefeitura Municipal de Manaus, 2006.
- STROSKI, A.A. Caracterização dos resíduos sólidos do Aterro Controlado de Manaus e a aplicabilidade do composto orgânico. **Dissertação de Mestrado**, Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2002.
- YABE, M.J.S. DE OLIVEIRA E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, vol. 21, p. 551-556, 1998.
- ZENEBON, O. *et al.* Determinação de mercúrio em águas sanitárias comercializadas em região do sudeste do Brasil. **Revista de Saúde Pública**, vol. 28, p. 127-130, 1994.