

Análise Temporal e Estatística da Poluição das Águas Subterrâneas por Disposição de RSU em Região Tropical

Gabriel Messias Moura de Faria

Universidade Federal do ABC, Santo André, Brasil, gabrielmoura4@hotmail.com

Giulliana Mondelli

Universidade Federal do ABC, Santo André, Brasil, g.mondelli@ufabc.edu.br

RESUMO: O lixiviado caracteriza-se como uma das principais dificuldades encontradas quanto à gestão dos resíduos sólidos urbanos, causador de problemas ambientais como alterações biogeoquímicas e toxicológicas, colocando assim em risco a saúde humana. O objetivo desse trabalho foi compreender a interação dos elementos químicos provenientes de lixiviação envolvidos na poluição de águas subterrâneas em uma área tropical. A área de estudo foi o Aterro de RSU de Bauru, Estado de São Paulo, sendo utilizados dados químicos das águas subterrâneas do aterro coletadas entre 2003 e 2015. O tratamento dos dados visando a organização e padronização destes foi feito seguido de uma análise exploratória que auxiliou na determinação dos constituintes principais das amostras, ou seja, aqueles que apresentam maior representatividade na amostra. Em seguida foi analisado o comportamento destes temporalmente, assim como foram comparadas as concentrações médias quanto às diretrizes ambientais nacionais. Foram encontradas altas concentrações de Fe e Ca, típicos do solo local, assim como a presença de Al, Ba, Na e SO_4^{2-} em destaque, possivelmente provenientes dos RSU. Entre os elementos cujas concentrações estavam acima dos valores orientadores citam-se Fe e Pb e outros casos esporádicos. Detectaram-se como constituintes principais: Fe, Nitrogênio Amoniacal, NO_3^- , PO_4^{3-} Total, SO_4^{2-} e Zn. Temporalmente foi observada uma diminuição da concentração dos elementos Fe, Nitrogênio Amoniacal e Zn, enquanto SO_4^{2-} e NO_3^- tendem a aumentar no decorrer da vida útil do aterro.

PALAVRAS-CHAVE: aterro sanitário, chorume, Bauru, contaminação.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são vistos como um dos principais problemas das cidades, dada a dificuldade de tratamento desses e ao elevado volume gerado, o que acaba causando a disposição final em locais inadequados como lixões, aterros controlados, assim como em aterros sanitários incorretamente implantados ou operados, colocando em risco o ambiente, principalmente pela questão dos lixiviados (MUCELIN; BELLINI, 2008; DE ANDRADE; FERREIRA, 2011; GÓMEZ-PUENTES et al., 2012).

O lixiviado, ou chorume, caracteriza-se por ser um líquido resultante da infiltração de fonte externa como água de chuva, escoamento superficial, águas subterrâneas e fontes de decomposição orgânica através do lixo e das

camadas do aterro, carregando junto ao líquido substâncias depositadas nesses locais (RENOU et al., 2008; ALVES; BERTOLO, 2012; CONDE; STACHIW; FERREIRA, 2014).

A produção do lixiviado é reconhecido como um dos principais problemas encontrados nos aterros sanitários e nas suas proximidades, dado o alto potencial poluidor, assim como é considerado um dos principais responsáveis pela poluição e contaminação das águas subterrâneas, sendo que vários fatores podem influenciar nesse processo (e.g. clima, composição dos RSUs, idade do aterro, método de enterramento, projeto de construção do aterro, transporte de substâncias, umidade de resíduos) (SCHWARZENBACH et al., 2010; BARELLA; BACELLAR; NALINI JR, 2013).

Ambientes tropicais são reconhecidos pela elevada variação das características e composições do lixiviado devido às elevadas densidades populacionais locais, alta precipitação anual (até 2000 mm), temperatura (25-35 ° C) e umidade relativa (60-80%), ocorrendo diferenças sazonais significativas, porém ainda se fazem limitadas as informações disponíveis sobre a interação do clima tropical com as características do lixiviado, assim como sobre a geração deste (TRÄNKLER et al., 2005; MANGIMBULUDE et al., 2009).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é estudar os elementos químicos provenientes da lixiviação envolvidos na poluição de águas subterrâneas em uma área de disposição de RSU em região tropical, a fim de entender os processos de interação do solo *versus* lixiviado.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se trata do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru (ARSUB) (Figura 1). Com uma área de aproximadamente 270.000 m², este recebe cerca de 220 t/dia da produção dos 367.000 habitantes do município (MONDELLI, 2008; NASCIMENTO, 2012; EMDURB, 2015). Em sua maior porção os resíduos depositados no ARSUB são resíduos orgânicos, seguidos de papel e papelão, plástico, têxtil e madeira (NASCIMENTO, 2012; EMDURB, 2015).

O ARSUB se encontra na zona rural do município, a cerca de 15 km da zona urbana, rodeado por pecuária, canaviais e uma penitenciária (LAGO; ELIS; GIACHETTI, 2006; MONDELLI, GIACHETTI; HAMADA, *in press*). O sistema de proteção construído na base do aterro caracteriza-se como deficiente, envolvendo alguns problemas, como a própria infiltração de lixiviado, que refletem sobre o IQR (Índice de Qualidade de Resíduos) do aterro, de 3,7 em 2014 (CETESB, 2011; CETESB, 2015; MONDELLI, GIACHETTI; HAMADA, *in press*). Dentre outros problemas além do lixiviado, se encontra-se no histórico

do ARSUB: deposição de resíduos hospitalares, possível influência dos ambientes circundantes, falta do tratamento do lixiviado em anos anteriores (JESUS, 2012; EMDURB, 2015; MONDELLI, GIACHETTI; HAMADA, *in press*).

O lixiviado encontrado na área de estudo no ano de 2003, se caracterizou por apresentar um pH básico em torno de 8,10 a 8,30 e uma elevada taxa de DBO₅ (2.500 mg/L) e DQO (5.340 mg/L). Já a taxa de sólidos dissolvidos totais foi encontrada em 8.949 mg/L e condutividade elétrica na faixa de 15.000 µS/cm, predominando metais como As (32 mg/L), Ba (20,24 mg/L), Ca (85,54 mg/L), Fe (12,98 mg/L), Mg (79,29 mg/L), S (18,80 mg/L) e Se (86,70 mg/L) (MONDELLI, 2008).

Geologicamente, o ARSUB se encontra no Planalto Ocidental Paulista na Bacia Sedimentar do Paraná apresentando rochas do Grupo Bauru (JESUS, 2012; NASCIMENTO, 2012). Minerais málficos compõem as rochas da região apresentando alto teor de Cálcio, Ferro e Magnésio (GROTZINGER; JORDAN, 2010). A partir de dados de sondagens SPT realizadas antes da implantação do aterro, foram encontrados os seguintes geomateriais, de acordo com sua origem: solos coluvionares, solos residuais de arenito, o arenito brando e solos aluvionares mais superficiais, que ocorrem nas cotas baixas (JESUS, 2012).

Hidrogeologicamente tem-se a presença do Aquífero Bauru associado ao Grupo Bauru e o Aquífero Guarani associado ao Grupo São Bento (IRITANI; EZAKI, 2012; NASCIMENTO, 2012). Segundo os mesmos autores o Aquífero Bauru se destaca como um aquífero superior e livre. A região de Bauru possui cerca de 236 poços instalados neste aquífero e, além disso, é nele em que estão situados os poços de monitoramento do ARSUB. Nas cotas elevadas se encontram níveis freáticos na faixa de 521 e 519 m enquanto nas cotas baixas 515 e 517 m (MONDELLI, 2008).

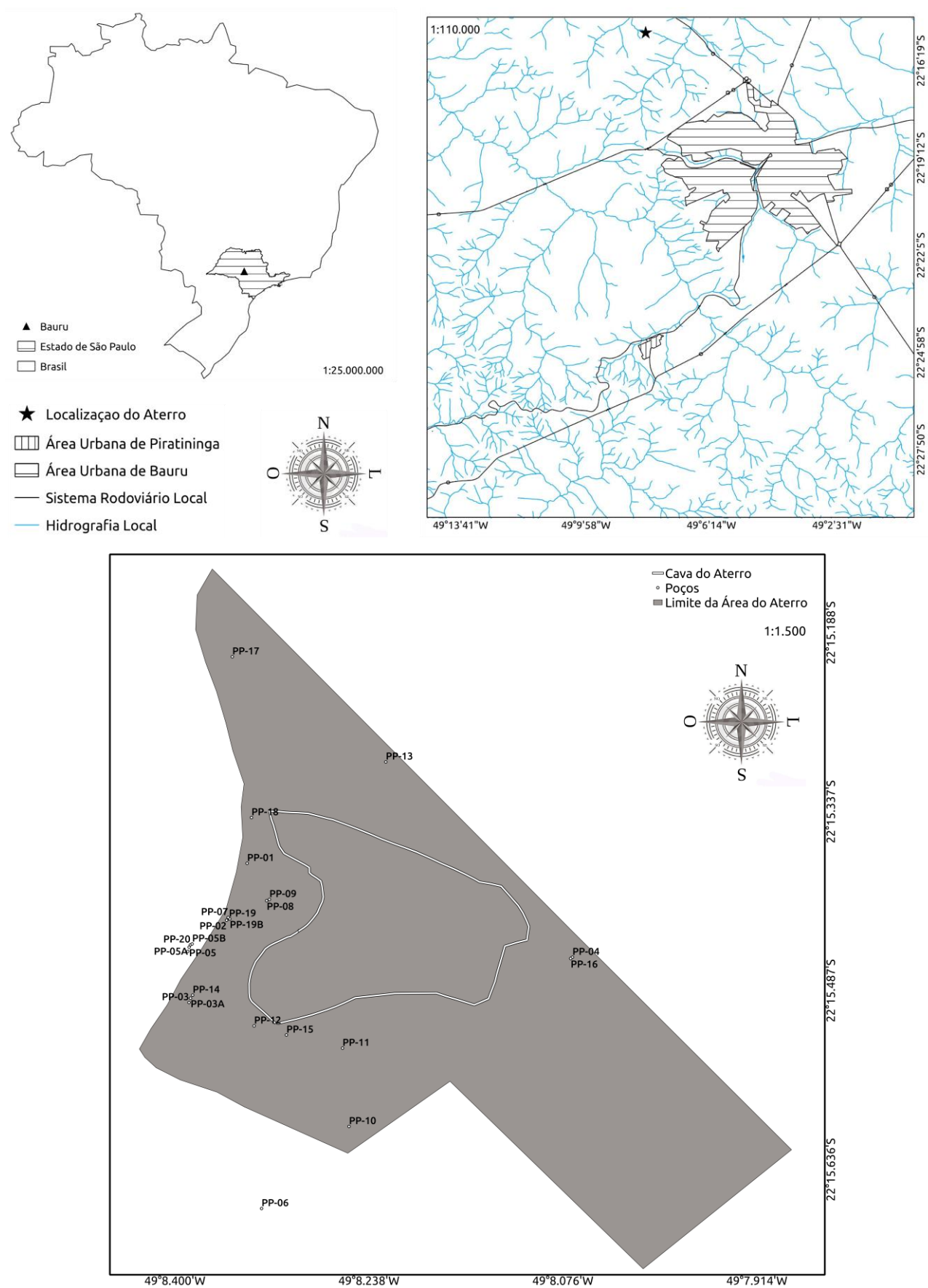


Figura 1. Localização do município de Bauru no centro-oeste de São Paulo assim como ARSUB e seus poços.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dados do Aquífero

Os dados utilizados referem-se aos parâmetros químicos das águas subterrâneas do ARSUB, sendo provenientes de 10 poços instalados no local e derivados de 25 campanhas entre os anos de 2003 e 2015. Essas informações se tratam portanto de dados secundários e foram fornecidos pela administradora do aterro.

Todos esses poços foram instalados no ano de 2002, sendo PP-1, PP-2, PP-3, PP-8 e PP-9 localizados a jusante enquanto a montante se encontram PP-4, PP-6, PP-10, PP-11, PP-12. O sentido do fluxo subterrâneo dentro do aterro é predominante de leste para oeste com a descarga próximo as imediações dos poços PP-8 e PP-9.

3.2 Tratamento de Dados e Forma de Análise dos Resultados

Como procedimento inicial houve um tratamento de dados para a organização dos mesmos, sendo posteriormente realizada uma análise exploratória, obtendo-se médias e desvio padrão dos elementos químicos analisados para cada poço.

Para interpretar os dados provenientes das análises exploratórias foi primeiro diagnosticado quais eram os elementos com as maiores médias em cada poço, e posteriormente os valores de média foram comparados com aqueles presentes na legislação nacional (CETESB e CONAMA 420/09), de forma a compreender quais eram os elementos que causavam contaminação.

Da mesma forma também foi feita uma avaliação temporal do comportamento dos principais elementos para cada poço. Para isso, foram determinados os Constituintes Principais de cada poço. Para isso, somente foram considerados os elementos que haviam aparecido em 13 ou mais campanhas por poço. A metodologia usada para o cálculo e determinação do Constituinte Principal segue a proposta de Hypolito, Andrade e Ezaki, 2011.

Todas as análises descritivas e gráficos foram confeccionados com auxílio do programa R Studio 0.99.467 e dos pacotes *ggplot 2*, *plyr*, *rescales* e *scales*.

4 RESULTADOS

Os elementos que apresentaram as maiores concentrações médias, apesar de grande parte destes não estarem presentes em todas as campanhas, foram: Ag, Al, Ca, Cd, Fe, K, Mn, Na, NO_3^- , SO_4^{2-} , S^{2-} . O maior destaque se deve ao Ca, que apresenta elevadas concentrações médias em relação aos demais compostos (e.g. PP-4 – 52,64 mg/L; PP-12 – 75,94 mg/L). Porém há de se considerar que o Ca foi amostrado somente em quatro ocasiões (07/2005; 07/2006; 08/2007; 08/2008).

Quanto ao fluxo subterrâneo foi visto que poços localizados a leste do aterro apresentam maiores concentrações médias de Ca (e.g. PP-4 e PP-10), assim como em alguns destes os níveis de SO_4^{2-} foram extremamente baixos. Os poços localizados a oeste do aterro apresentam predominância de Al (PP-12), Ba (PP-1 e PP-2), Ca em concentrações menores do que a leste, Fe, Na (PP-1, PP-2, PP-9) e SO_4^{2-} .

Quanto à existência de contaminação, a comparação com os valores orientadores da CETESB e do CONAMA 420/09 demonstram que os elementos Fe e Pb apresentaram valores médios para quase todas campanhas e poços, acima daqueles estipulados por essas duas diretrizes. Outros elementos apresentaram esporadicamente valores acima dos orientadores para alguma das diretrizes ou para ambas (Al, As, Ba, Cd, Cr, Mn, Ni, NO_3^-).

Os elementos químicos que apresentaram maior constância ao longo de todas as campanhas foram: Cd, Cr, Fe, Ni, NO_3^- , NO_2^- , Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Total, Pb, PO_4^{3-} Total, SO_4^{2-} , S^{2-} e Zn. Dentre esses elementos aqueles classificados como Constituintes Principais para os poços anteriormente citados foram: Fe, Nitrogênio Amoniacal, NO_3^- , PO_4^{3-} Total, SO_4^{2-} e Zn.

As concentrações médias encontradas para Fe variam entre 0,60 e 10,00 mg/L, destacando os maiores valores para PP-1 e PP-2 e o menor para PP-8. Na avaliação temporal se percebe um comportamento distinto entre os poços, onde PP-1 e PP-2 apresentam elevadas concentrações nas campanhas analisadas inicialmente e ao longo do tempo estas diminuem apresentando alguns picos no

decorrer das campanhas (e.g. PP-1 27,03 mg/L em 04/2008) (Figura 2). Quanto aos demais poços, há pequenas oscilações em torno da média desse elemento, excetuando um pico quanto à concentração no PP-6 (07/2006 – 15,70 mg/L). De uma forma geral as concentrações tendem a diminuir em relação à primeira campanha, excetuando um único caso, PP-2, cuja concentração em 2015 foi 22,70 mg/L.

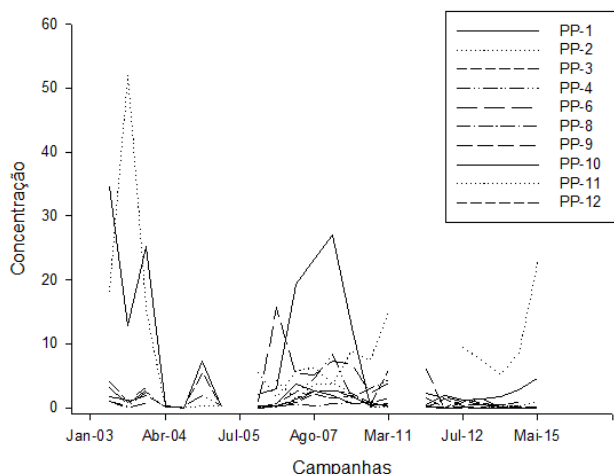


Figura 2. Variação da Concentração de Fe ao longo das campanhas.

Quanto aos compostos nitrogenados foi visto que o Nitrogênio Amoniacal apresenta uma variação de concentração média em torno de 0,08 e 0,50 mg/L, e que o NO_3^- se apresenta entre 0,20 e 10,00 mg/L. Para Nitrogênio Amoniacal temporalmente as concentrações oscilam em torno da média, apresentando singelos picos com valores extremos (e.g. PP-1 – 5,29 mg/L – 10/2011; PP-4 – 1,68 mg/L – 09/2004; PP-8 – 2,10 mg/L – 01/12). Ocorre no caso de NO_3^- um comportamento de estabilização quanto à concentração ao longo do tempo, porém para PP-3, PP-4 e PP-10 ocorreram valores extremos anômalos em relação aos demais, como de (e.g. PP-4 – 98,00 mg/L em 04/2013) (Figura 3).

No cenário encontrado para SO_4^{2-} , as médias de concentração variam entre 0,60 e 5,50 mg/L, sendo os maiores destaques para PP-6, PP-12 e PP-1, respectivamente. Temporalmente, apesar de manter sua concentração em no máximo 20 mg/L, ocorrem muitas oscilações ao longo das campanhas, destacando o PP-1, onde houve picos concentrações de 10 a 11 mg/L, seguidas de

valores da ordem de 2 mg/L (Figura 3). Excetuando os poços PP-6 e PP-8, os demais apresentaram sua última amostragem demonstrando tendência ao aumento da concentração (e.g. PP-3 – 1,00 mg/L em 04/2013 – 1,17 mg/L 02/2014). No caso dos PP-6 e PP-8, esses valores decresceram nas campanhas finais, sendo que o primeiro apresentou grandes amplitudes de variação, destacando níveis como 20,00 mg/L (02/2007) e 9,00 mg/L (11/2009), que se reduziram a < 0,50 mg/L (02/2014).

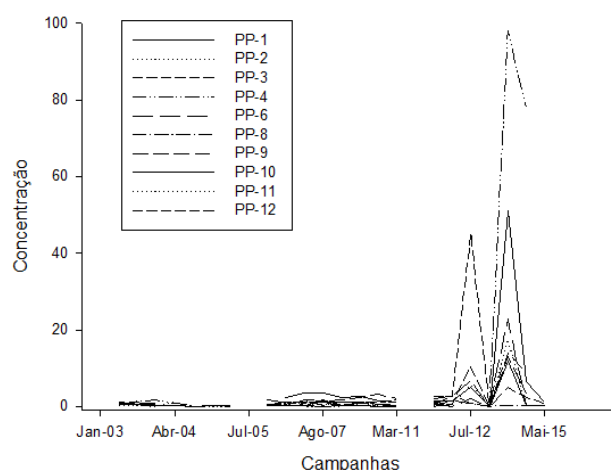


Figura 2. Variação da Concentração de NO_3^- ao longo das campanhas.

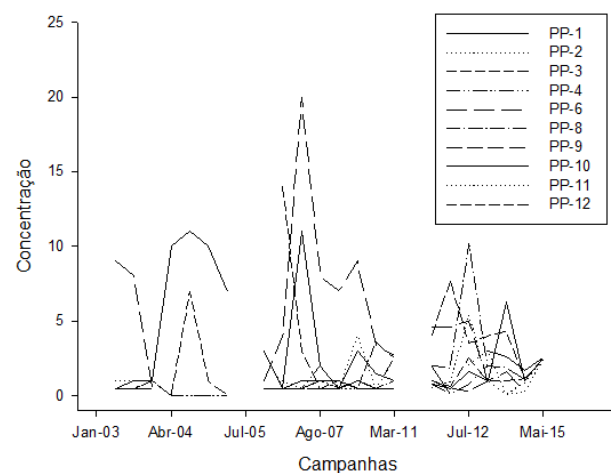


Figura 3. Variação da Concentração de SO_4^{2-} ao longo das campanhas.

No caso de Zn, este apresentou as menores concentrações dentre os constituintes principais, destacam-se PP-1 e PP-4 por apresentarem as maiores concentrações médias para este elemento. As campanhas iniciais apresentaram concentrações com o comportamento de aumento (PP-2 – 1,12 mg/L

em 09/2004; PP-3 – 1,02 mg/L em 09/2004; PP-12 – 1,05 mg/L em 07/2006) (Figura 4). No caso do PP-2 ocorreram dois eventos de valores extremos, um já citado anteriormente em 2004 e outro em 10/2010 (0,92 mg/L). Para ambos os casos é perceptível que esse aumento na concentração ocorre de forma abrupta entre as campanhas.

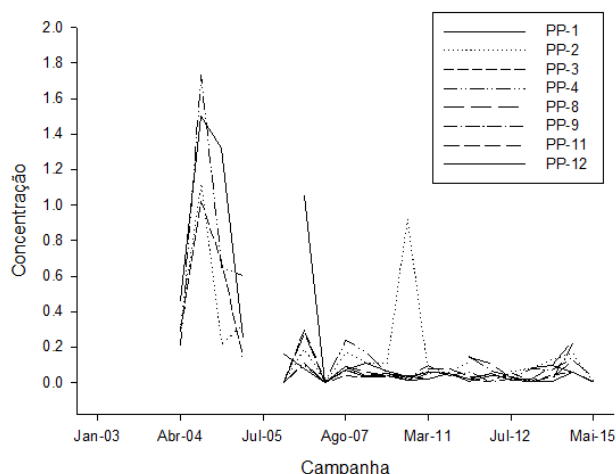


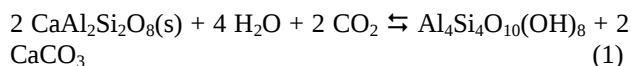
Figura 4. Variação da Concentração de Zn ao longo das campanhas.

Por fim, no caso do PO_4^{3-} Total destacam-se três poços onde o elemento foi alocado como Constituinte Principal (PP-3, PP-6, PP-8). Quanto as concentrações médias estas estiveram em torno de 0,03 a 0,55 mg/L. Temporalmente foi visto uma tendência das concentrações diminuírem, apresentando alguns valores anômalos durante o processo como 3,21 mg/L em 07/2006 e 2,19 mg/L em 02/2007 para PP-6.

5 DISCUSSÃO

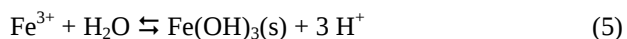
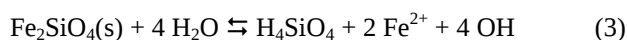
As elevadas concentrações de Ca possivelmente se relacionam com as formações onde ocorrem Calcita. O processo de alteração de Anortita acaba gerando como produtos Caulinita e Calcita (Equação 1), que devido à dissolução desencadeada pela reação da última com a água e gás carbônico gera como produto o íon Ca^{2+} (Equação 2) (HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011; WERNICK, 2004). Mondelli, 2008 construiu um perfil geológico que se observado permite averiguar que os poços relacionados anteriormente com as maiores

concentrações médias de Ca se encontram em áreas onde há presença de Calcita associada ao solo.



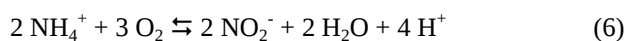
Referindo-se aos elementos que se encontram fora do padrão normativo brasileiro, estes não são frequentemente considerados como fonte de contaminação, devido à baixa concentração encontrada e à ação de processos de adsorção e precipitação (e.g. As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (ALVES; BERTOLO, 2012). Alguns dos possíveis efeitos gerados pelo excesso da ingestão de alguns componentes químicos presentes no ARSUB são: Cd (Câncer de Pulmão, Danos Hepáticos e Renais), Fe (Câncer, Hemocromatose, Insuficiência Cardíaca, Siderose), Ni (Efeitos Neurológicos, Gastrointestinais, Alterações Sanguíneas, Óbito) e Pb (Anemia, Hipertensão, Insuficiência Renal, Problemas Neurológicos) (LOLLAR, 2005).

Quanto à origem de Fe, essa se dá possivelmente pela alteração de Faialite, um mineral de Olivina presente em rochas basálticas (Equação 3). Em meio ácido o contato desse mineral com a água acaba por liberar íon Fe^{2+} , que dependendo das propriedades da água pode tomar outras formas como Fe^{3+} ou Hidróxido de Ferro (III) (Equações 4 e 5) (HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011).



Da mesma forma outros elementos têm possivelmente sua origem ligada à composição dos RSU depositados no local, como: Pb (Papel, Material Metálico e Orgânico, Baterias, Produtos Químicos de Fotografia, Tintas), Cr (Vidro, Tecidos), Cd (Material Metálico, Plástico, Baterias), Ni (Material Metálico e Orgânico, Baterias) (OLIVEIRA; PASQUAL, 2004; MOR et al., 2006, GÓMEZ-PUENTES et al., 2014).

Quanto aos constituintes principais, tem-se que Nitrogênio Amoniacal representa NH_4^+ , dadas as condições das taxas de pH encontradas no aterro e baseado em diagramas de distribuição da espécie Amônia, sendo já esperado baixos níveis desse composto, ligado à fácil adsorção do mesmo, assim como à rápida oxidação de NO_2^- e NO_3^- (ALABURDA; NISHIHARA, 1998; CERNA, 2008). Dessa forma, há possivelmente o comportamento de diminuição dos valores de NH_4^+ e aumento de NO_3^- seguindo o padrão de desenvolvimento de um ambiente a jusante de uma fonte de poluição, ocorrendo Nitrificação por ação bacteriana durante o processo segundo as Equações 6 e 7 (CERNA, 2008; VESILIND; MORGAN; HEINE, 2009).



A diminuição da concentração de SO_4^{2-} tanto nas últimas campanhas, mas principalmente nas primeiras pode ser explicado pela precipitação de Pirita. A origem de SO_4^{2-} pode ser do processo de reoxidação de S^{2-} , pois quando este não segue essa via ele acaba por se unir a íons livres de Fe^{2+} e formar a Pirita que é precipitada (BARELLA; BACELLAR; NALINI JR., 2013). Dessa forma, tem-se então que a via de formação de SO_4^{2-} a partir de S^{2-} não ocorre diminuindo os níveis desse composto e acabando por precipitar Pirita, segundo as Equações 8, 9, 10 (ALBARÈDE, 2009)



Quanto ao caso de Zn possivelmente sua origem se dá de uma fonte externa ao subsolo (e.g. baterias, borrachas, material orgânico, material metálico, plástico) assim como PO_4^{3-} (e.g. Fertilizantes, Detergentes) (OLIVEIRA; PASQUAL, 2004; MOR et al., 2006, GÓMEZ-PUENTES et al., 2014).

Fica claro a influência dos poluentes no aquífero freático do ARSUB, sendo estes provenientes tanto da lixiviação como da interação do lixiviado com meio. Dessa forma foi visto que as possíveis origens desses poluentes são distintas, como os próprios RSU e o subsolo local. Confirma-se a contaminação da área por Fe e Pb por infringirem constantemente a legislação vigente em todos poços. Também foi visto que Fe, Nitrogênio Amoniacal, NO_3^- , PO_4^{3-} Total, SO_4^{2-} e Zn representam os Constituintes Principais de alguns poços.

Recomenda-se uma análise *a posteriori* visando compreender mais detalhadamente quais são as reais origens dos compostos aqui relatados, assim como os processos responsáveis por sua origem. Como próxima etapa deste trabalho será utilizado o *software* PHREEQC para identificar e compreender a formação e desenvolvimento da contaminação presente nesse aterro.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru (EMDURB) pelo apoio e pelos dados fornecidos para essa pesquisa, assim como à Universidade Federal do ABC (UFABC) pela infraestrutura e bolsa de mestrado concedida, assim como o apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP.

REFERÊNCIAS

- Alaburda J. e Nishihara, L. (1998). Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. Revista de Saúde Pública, v. 32, n. 2, p. 160-165.
- Albarède, F. (2003). Geochemistry: an introduction. Cambridge University Press.
- Alves, C.F.C. e Bertolo, R.A. (2012). Geoquímica de águas subterrâneas impactadas por aterros de resíduos sólidos. Águas Subterrâneas, v. 26, n. 1.
- Barella, C.S.; Bacellar, L.A.P.; Nalini JR, H.A. (2013). Influence of the natural oxidation of the leachate organic fraction from a landfill on groundwater quality, Belo Horizonte: Minas Gerais, south-eastern Brazil. Environmental Earth Sciences, v. 70, n. 5, p. 2283-2292.

- Cerna, C.E.L. (2008). Degradação da Amônia em Efluentes com Ácido de Caro. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2011). Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2010 [recurso eletrônico] /CETESB. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicações-e-Relatórios/1-Publicações-/Relatórios>>.
- _____. (2015). Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2014 [recurso eletrônico]/CETESB. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicações-e-Relatórios/1-Publicações-/Relatórios>>
- Conde, T.T.; Stachiw, R.; Ferreira, E. (2015). Aterro sanitário como alternativa para a preservação ambiental. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, v. 3, n. 1, p. 69-80.
- De Andrade, R.M. e Ferreira, J.A. (2011). A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da Globalização. *Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 6, n. 1.
- EMDURB, Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru. (2015). Histórico do Aterro. Disponível em: <http://www.emdurb.com.br/ambiental/index_ambiental.php>. Acessado em: 15 de Junho de 2015.
- Gómez-Puentes, F.J. et al. (2012). Modelación geoquímica del agua subterránea en un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, v. 28, p. 127-
- _____. (2014). Geochemical processes controlling the groundwater transport of contaminants released by a dump in an arid region of México. *Environmental Earth Sciences*, v. 71, n. 2, p. 609-621.
- Grotzinger, J. e Jordan, T.H. (2010). *Understanding Earth*. Macmillan.
- Hypolito, R.; Andrade, S.; Ezaki, S. (2011). *Geoquímica da Interação-Água/Rocha/Solo Estudos Preliminares*. All Print. São Paulo. pg. v. 454.
- Iritani, M.A.; Ezaki, S. (2012). *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*.
- Jesus, L.S. (2012). Estudo da permeabilidade dos solos de fundação do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru. 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru.
- Lago, A.L.; Elis, V. R.; Giachetti, H. L. (2006). Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 24, n. 3, p. 357-374.
- Lollar, B.S. (2005). *Environmental geochemistry*. Elsevier.
- Mangimbulude, J.C. et al. (2009). Seasonal dynamics in leachate hydrochemistry and natural attenuation in surface run-off water from a tropical landfill. *Waste Management*, v. 29, n. 2, p. 829-838.
- Mondelli, G. (2008). Integração de diferentes técnicas de investigação para avaliação da poluição e contaminação de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Mondelli, G.; Giachetti, H. L.; Hamada, J. (in press). Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. *Eng Sanit Ambient*.
- Mor, S. et al. (2006). Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 118, n. 1-3, p. 435-456.
- Mucelin, C.A. e Bellini, M. (2008). Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. *Sociedade & Natureza*, v. 20, n. 1, p. 111-124.
- Nascimento, V.F. (2012). Proposta para indicação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Bauru-SP, utilizando análise multicritério de decisão e técnicas de geoprocessamento. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru.
- Oliveira, S. e Pasqual, A. (2004). Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 240-249.
- Renou, S. et al. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n. 3, p. 468-493.
- Schwarzenbach, R.P. et al. (2010). Global water pollution and human health. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 35, p. 109-136.
- Tränkler, J., et al. (2005). "Influence of tropical seasonal variations on landfill leachate characteristics—Results from lysimeter studies." *Waste Management* v. 25, n.10, p. 1013-1020.
- Vesilind, P.; MORGAN, S.; HEINE, L. (2009). *Introduction to Environmental Engineering*. Cengage Learning.
- Wernick, E. (2004). Rochas magmáticas conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica. UNESP.