



ESTUDO DOS LIXIVIADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL POR MEIO DE SIMULAÇÕES EM LISÍMETROS

Rodrigo Eduardo Córdoba⁽¹⁾

Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil (DECiv) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Valdir Schalch

Professor Senior do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Washington Luís, km 235 - Monjolinho – São Carlos - SP - CEP: 13565-905 – Brasil - Tel: +55 (16) 3351-9695 - e-mail: cordoba@ufscar.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal investigar o potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil (RCC) por meio de lisímetros (colunas de lixiviação), e assim avaliar os cenários de disposição final de RCC mediante simulações em laboratório. O método proposto nesse estudo consistiu na simulação da percolação de chuva em aterros de resíduos da construção civil. Para tanto, foram realizados dois experimentos, sendo que o primeiro analisou a situação de disposição de resíduos puramente Classe A, e o outro RCC Classe A, com pequenas quantidades de outras classes de RCC. Resultados apontaram que as concentrações máximas dos lixiviados de RCC que excederam o valor máximo permitido para consumo humano segundo o padrão de potabilidade vigente, os parâmetros excedidos foram: sulfato (950 mg/L), Pb (0,36 mg/L), Cd (0,075 mg/L), Ni (0,088 mg/L), Fe (0,658 mg/L), Ba (1,205 mg/L), Cr (0,125 mg/L), Mn (0,297 mg/L), e Al (3,44 mg/L). Portanto, pode se verificar que existe potencial de contaminação dos lixiviados gerados em aterros de RCC Classe A, os quais podem vir a poluir ou contaminar o solo e as águas subterrâneas, e por sua vez pode inviabilizar o uso dessas águas para consumo humano.

Palavras-chave: Construção Civil, Lixiviados. Aterro de Resíduos da Construção Civil. Aterro de Inertes. Qualidade dos Recursos Hídricos. Resíduos Sólidos.



INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

No Brasil a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) instituiu que desde julho de 2004 os municípios seriam proibidos de destinarem os resíduos da construção civil (RCC) em aterros sanitários e áreas de “bota fora”. Com isso, os geradores ficaram incumbidos de enviarem seus RCC Classe A para aterros específicos de resíduos da construção civil e de resíduos inertes. Porém, esses aterros não possuem impermeabilização de base e sistemas de drenagem de líquidos percolados, o que pode favorecer a migração dos lixiviados de RCC para reservas de água e colocar em risco à saúde da população e o meio ambiente.

Em concordância com essa hipótese, alguns autores apontam que nesses aterros ocorre à disposição de pequenas quantidades de resíduos de outras classes de RCC – Classe B, Classe C e Classe D – e de resíduos de outras origens, os quais tornariam possível a contaminação do solo e dos recursos hídricos (FERGUSON e MALE, 1980; TOWNSEND, JANG e THURN, 1999; ANGULO e JOHN, 2006). Estudo pioneiro realizado por Ferguson e Male (1980) sobre o potencial de poluição causado pela disposição em solo de resíduos da construção civil identificaram significativos aumentos de dureza, DQO, ferro e manganês. Os autores observaram concentrações máximas em aterros de 40 mg/L de ferro, 9,0 mg/L de manganês, dureza de 1100 mg/L CaCO₃, e DQO de 270 mg/L.

Atualmente, estudos nacionais sobre lixiviados de RCC ainda são limitados quando comparados com estudos sobre lixiviados provenientes de aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Diante desse quadro, é possível inferir que essa carência de pesquisas aprofundadas em aterros de RCC e resíduos inertes brasileiros tem refletido no pouco conhecimento gerado sobre as características qualitativas dos lixiviados formados nesse sistema de disposição final.

Em alguns países desenvolvidos – EUA, França e Alemanha – estudos sobre as características qualitativas dos lixiviados de RCC são mais consistentes. Porém, muitos dados presentes na literatura são referentes a estudos realizados no exterior, em países com clima temperado, e características diferentes dos aterros brasileiros.

Portanto, esse estudo se reveste de importância por investigar em âmbito nacional a influência de lixiviados de aterros de RCC na qualidade dos recursos hídricos, com intuito de suprir a carência de estudos nessa área de conhecimento e permitir o aprimoramento de procedimentos de projeto, execução e operação de aterros de RCC.

O presente artigo tem como objetivo principal apresentar estudo que investigou o potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de dois experimentos em lisímetros (colunas de lixiviação), e assim avaliar os cenários de disposição final de RCC mediante simulações.



MATERIAL E MÉTODOS

Com base no apontamento da literatura, que nos aterros de RCC podem ocorrer à disposição de pequenas quantidades de resíduos de outras classes de RCC – Classe B, Classe C e Classe D – e de resíduos de outras origens, a hipótese tema desse estudo admite que a disposição em solo de resíduos da construção civil pode gerar lixiviados com potencial de contaminação às águas subterrâneas. Para verificar essa hipótese foram realizados 2 experimentos de simulação em lisímetros, sendo que o primeiro analisou a situação de disposição de resíduos puramente Classe A – conforme recomenda a Resolução CONAMA nº 307/2002 – , e o outro de resíduos Classe A, com pequenas quantidades de outras classes de RCC – prática usual dos aterros de RCC.

O método proposto nesse estudo consiste na simulação da percolação de chuva em aterros de resíduos da construção civil. Neste contexto, foram realizados experimentos nos moldes das simulações realizadas por Townsend et al. (1999) e Roussat et al. (2008). Contudo foram feitas algumas adaptações para que esses experimentos simulassem de maneira efetiva os efeitos dos lixiviados de resíduos da construção civil existentes no Brasil.

Na parte experimental foram utilizadas seis lisímetros, sendo 3 saturados e 3 não saturados. Essas colunas consistiam em tubos de acrílico reforçado com dimensões de 9 cm de diâmetro, 100 cm de altura e volume útil de 6,3 litros. No interior de cada coluna 6,3 litros (7,6 kg) de amostras de RCC foram armazenadas para posteriormente serem ensaiadas. Essas colunas possuíam as seguintes estruturas de apoio: reservatório-fonte para solução lixivante, reservatório de armazenamento de líquidos percolados com capacidade de 1,6 litros (Figuras 1).

Figura 1 – a) Colunas de lixiviação. b) Reservatório de líquidos percolados.



(a)



(b)

Para a determinação da quantidade de solução lixivante utilizada em cada coluna foi realizado um balanço hídrico para aterro de RCC do município em questão. Com base no balanço hídrico foi possível estimar a quantidade de chuva que infiltra no aterro (mm/ano), que representa 1.317,0 mm/ano.



Diante desses dados, foi possível concluir que cada coluna saturada deveria receber aproximadamente 30 litros de solução lixiviante, o que representa um período de chuvas de aproximadamente 3,5 anos de vida do aterro. Para o bombeamento da solução lixiviante, foram utilizadas bombas peristálticas com fluxo diário de 230 mL. Essas bombas peristálticas fizeram o recalque de líquido lixiviante de maneira alternada, ou seja, recalcam aproximadamente 19 mL a cada meia hora, cuja velocidade de percolação foi aproximadamente $4,98 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Cabe ressaltar que nas simulações em condições saturadas foram adotados fluxos ascendentes com pressão contínua, a fim de evitar a formação de caminhos preferenciais, e assim garantir maior interação dos RCC com a solução lixiviante. Para o funcionamento do sistema em condições não saturadas, o fluxo adotado da solução lixiviante foi descendente. Para tanto, foram aspergidos 400 mL de solução lixiviante em dias alternados – segunda, quarta, sexta e domingo, mediante o uso de bomba elétrica de alta pressão e microaspersores.

Para ensaios de resíduos sólidos em que o contato com resíduos domiciliares seja pouco provável, a USEPA recomenda o uso do ensaio SW-846 Método 1312, denominado Synthetic Precipitate Leaching Procedure (SPLP). De acordo com a (USEPA, 1994) o Método 1312 é indicado para determinar o potencial de lixiviação de materiais devido a precipitações levemente ácidas. A solução lixiviante desse ensaio utiliza ácido sulfúrico e ácido nítrico para melhor representar a chuva ácida resultante de óxidos de nitrogênio e enxofre. Neste contexto, é importante informar que trabalhos de pesquisadores dos EUA adotaram as soluções lixivantes do SW-846 Método 1312 para realizar simulações de RCC em colunas de lixiviação (TOWNSEND; JANG; THURN, 1999; TOWNSEND; JANG; WEBER, 2000; JANG; TOWNSEND, 2003). Portanto, esse estudo adotou como solução lixiviante o fluido de extração nº 2 do Método 1312 – Synthetic Precipitate Leaching Procedure (USEPA, 1994). De acordo com o supracitado método, o fluido de extração nº 2 seria o mais indicado para ensaios de lixiviação sob condições de precipitação levemente ácidas (pH= 5,0). Esse fluido de extração foi elaborado pela adição de 60/40 por cento em massa da mistura de ácido sulfúrico e ácido nítrico para água deionizada até pH $5,00 \pm 0,05$.

Experimento 1 – Simulação de um aterro RCC Classe A em condições teóricas

Esse experimento teve por finalidade investigar os resíduos denominados Classe A pela Resolução CONAMA nº 307 de 2002, os quais são considerados pela citada resolução como resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Essa classe de resíduos é passível de confinamento em aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros, desde que sejam aplicadas técnicas e princípios de engenharia que possibilitem armazená-los em menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente, e que possibilitem seu uso futuro ou futura utilização da área (CONAMA 448/2012)



Para a realização do experimento foram coletadas amostras de RCC Classe A oriundas da Usina de Reciclagem de RCC do município de São Carlos – SP. Esses resíduos podem ser definidos para critérios de amostragem em RCC Tipo I (cinza ou ARC), no qual predominam materiais que contêm cimento em sua composição – concreto, argamassa e artefatos de cimento – e RCC Tipo II (misto ou ARM) em que predominam materiais cerâmicos e solo. Esse experimento fez uso de 4 lisímetros, 2 simulando as condições RCC Tipo I (condições saturadas e não saturadas) e os outros com RCC Tipo II nas mesmas condições. O procedimento de amostragem consistiu na coleta de lotes contendo 120 kg de agregados de resíduo de concreto (ARC) e 60 kg de agregados de resíduo misto (ARM). Em cada lote os agregados tipo ARC foram compostos em porcentagem de massa de 25% de areia grossa, 25% de brita nº1, 25% de pedrisco, e 25% de pedregulho (rachão). Já para os agregados tipo ARM foram coletadas apenas duas frações – 50% menor (granulometria menor ou igual a 25 mm), e 50% maior (granulometria maior que 25 mm). Para esse experimento foram coletados ao todo 3 lotes de cada tipo de material – ARC e ARM, totalizando 540 kg. Para coleta de amostras representativas os lotes foram coletados a cada 2 meses durante o período de um semestre.

A Tabela 1 apresenta a composição e quantidades dos RCC Classe A que foram inseridas nessas colunas, depois de misturadas e homogêneas as amostras dos 3 lotes coletados, conforme recomenda a NBR 10007/2004 (ABNT, 2004).

Tabela 1 – Composição e quantidades dos agregados inseridos nos lisímetros

Componente	Granulometria (mm)	Saturadas	
		ARC ⁽¹⁾ (kg)	ARM ⁽²⁾ (kg)
Bica corrida ⁽²⁾	Variada	-	7,60
Areia Grossa ⁽¹⁾	≤ 2,4	1,90	-
Pedrisco ⁽¹⁾	≤ 9,5	1,90	-
Brita nº 1 ⁽¹⁾	≤ 19	1,90	-
Pedregulho (rachão) ⁽¹⁾	≥ 25	1,90	-
Total	-	7,60	7,60

⁽¹⁾ ARC: agregado de resíduo de concreto, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas – concreto, argamassa e artefatos de cimento.

⁽²⁾ ARM: agregado de resíduo mistos, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas – predominam materiais cerâmicos e solo, com a presença de pequenas quantidades argamassa, concreto e pedras.



Experimento 2 – Simulação de uma aterro RCC Classe A em operação

Esse experimento teve por finalidade simular a lixiviação em aterros de RCC, os quais usualmente recebem RCC classe A e pequenas frações de outras classes, nos mesmos moldes do experimento1. Essa simulação poderá fornecer dados sobre prováveis impactos negativos causados nos recursos hídricos devido à percolação das águas da chuva nesses aterros.

Para tanto, foram coletados lotes de 4 kg de cada material que compõe os RCC que são dispostos no aterro de RCC do município, os quais estão descritos na Tabela 2. Para esse experimento foram coletados ao todo 3 lotes, o que representam 144 kg de amostras de RCC. As coletas de cada lote foram realizadas a cada 2 meses durante o período de um semestre

Para realização do experimento foram necessárias 2 colunas, sendo uma saturada e a outra não saturada. Com vista à melhor representar as condições reais do aterro, esse experimento padronizou os RCC a serem inseridos nessas colunas, com base no balanço de massa dos resíduos dispostos no aterro do município (Tabela 2).

Tabela 2 – Estimativa da composição dos resíduos dispostos no aterro e quantidade de resíduo padrão inseridos nos lisímetros

Componente	Classe	Porcentagem média em massa (%)	Entrada de RCC no aterro (t/dia)	Material triado no aterro de RCC (t/dia)	RCC aterrado (%)	Resíduo padrão inseridos nas colunas (g)
Areia/ Solo	Classe A	37,96	227,90	-	38,13	2897,99
Cerâmicos	Classe A	25,29	151,83	0,05	25,40	1930,09
Concreto	Classe A	15,43	92,64	-	15,50	1177,98
Argamassa	Classe A	13,21	79,31	-	13,27	1008,50
Papel/Papelão	Classe B	1,19	7,14	0,24 ⁽²⁾	1,16	87,80
Madeira	Classe B	4,19	25,16	1,88 ⁽²⁾	3,89	295,97
Plástico	Classe B	0,19	1,14	0,12 ⁽²⁾	0,17	12,98
Rochas	Classe A	1,47	8,83	-	1,48	112,22
Metais	Classe B	0,45	2,70	0,35 ⁽²⁾	0,39	29,90
Outros ⁽¹⁾	-	0,01	0,06	-	0,01	0,76
Gesso	Classe B	0,54	3,24	-	0,54	41,23
Asfalto	Classe D	0,06	0,36	-	0,06	4,58
Fibrocimento	Classe D	-	-	-	-	-
Vidro	Classe B	-	-	-	-	-
Total	-	100	600,3	2,6	100	7600

⁽¹⁾ Materiais classificados como rejeitos (espumas, borrachas, pincéis, panos e matéria orgânica).

⁽²⁾ PMSC (2009)

Fonte: CORDOBA (2010), adaptada pelos autores



Metodologia analítica das análises

Os parâmetros dos lixiviados como temperatura, pH, condutividade elétrica, foram medidos e registrados *in situ*, com base em APHA et al. (2005). Os demais parâmetros foram analisados junto ao Laboratório, em consonância com APHA et al. (2005).

A metodologia analítica utilizada para análise das amostras de lixiviados, extratos e águas, suas frequências de análises, e equipamentos estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Metodologia analítica utilizada para análise dos lixiviados

Parâmetro	Método	Equipamento	Frequência de análises das colunas
Temperatura (° C)	Termometria - 2550 B	Termômetro de mercúrio -10e +60 - Incoterm	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, 6ª, 7ª, 10ª, 14ª, e 18ª semana
pH	Potenciométrico - 4500-H ⁺ B	pHmetro Bancada. Digimed Modelo: DM-22	
Condutividade elétrica (µS/cm)	Condutivímetro - 2510 B	Condutivímetro Horiba – DS20	
Sulfatos (mg/L)	Turbidimetria - 4500- SO ₄ ²⁻ E	Hach COD reactor 45600-00/Hach DR 2010 espectrofotômetro, Sulfaver4 (HACH)	
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	Titulométrico - 2320 B	-	
Dureza (mg/L CaCO ₃)	Titulométrico -2340 C	-	
COT (mg/L)	Combustão - Method 5310 B	DOC (Shimadzu TOC 5000 A Analyser)	
DQO (mg/L)	Colorimetria - 5220 D	Hach COD reactor 45600-00/Hach DR 2010 spectrophotometer)	
Li, Mg, Ca (mg/L)	Espectrometria - 3111B/3111D	Varian AA240 FS espectrofotômetro de absorção atômica	
K, Na (mg/L)	Fotometria - 3500 K/3500 NaB	Fotômetro de Chama (Digimed) Modelo: DM 62	
Alumínio (mg/L)	Espectrometria – 3111 D	Varian AA240 FS espectrofotômetro de absorção atômica	
Metais em solução (zinco, chumbo, cádmio, níquel, ferro solúvel, manganês solúvel, cobre, cromo total) (mg/L)	Espectrometria de absorção atômica - 3111 B	Varian AA240 FS espectrofotômetro de absorção atômica	

Fonte: APHA et al. (2005).



RESULTADOS/DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados das análises dos lixiviados obtidos nos experimentos, os quais foram comparados com os valores máximo permitido (VMP) para consumo humano, segundo a Resolução CONAMA nº 396 (BRASIL, 2008), a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde - Padrão de potabilidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011).

Para maior clareza o eixo x dos gráficos representa uma relação da quantidade de líquido inserida no sistema pela massa de resíduos ensaiada. A massa existente nas colunas corresponde a 7,6 kg de resíduos, já o líquido corresponde à quantidade de chuva sintética que passou pela massa resíduos.

Resultados do experimento 1

A Tabela 3 apresenta a relação das colunas, seu regime e o tipo de resíduo ensaiado para o experimento 1.

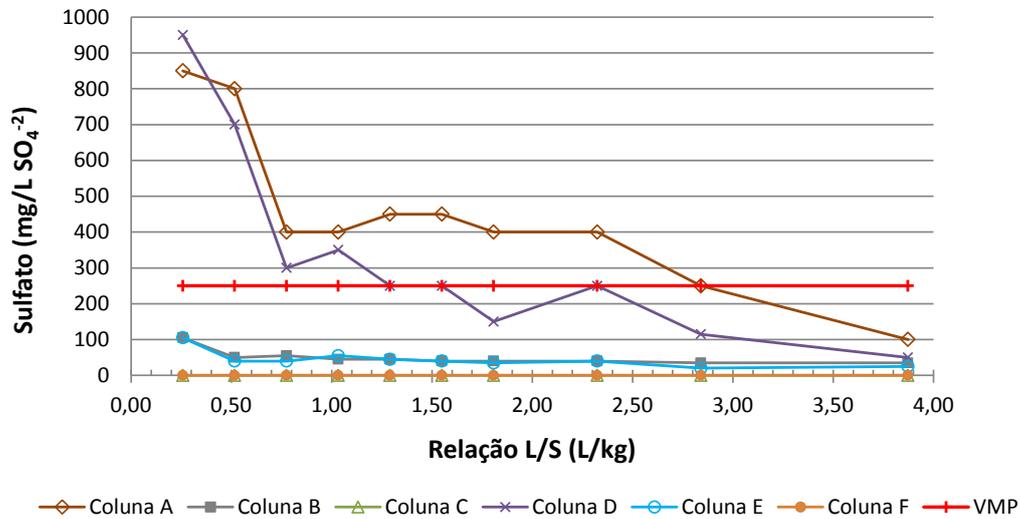
Tabela 3 – Relação das colunas, seu regime, e o tipo de resíduo ensaiado para o experimento 1

Coluna	Regime	Tipo de Resíduo
A	Saturado	ARM
B	Saturado	ARC
C	Saturado	Branco de laboratório
D	Não saturado	ARM
E	Não saturado	ARC
F	Não saturado	Branco de laboratório

Concentrações de sulfatos semelhantes às obtidas na coluna A e D (valores máximos de 950 mg/L) foram detectadas em colunas que continham a presença de gesso em sua composição. Estudos de Townsend, Jang e Thurn (1999) constataram que a presença de sulfato se deu devido às características solúveis do gesso. É possível que nas amostras de ARM contenham pequenas parcelas de gesso incorporadas, pois os ARM tem origem em demolições e construções, que podem estar aderidos ao gesso, por exemplo, demolição de uma parede revestida com gesso. Na Figura 2 também se observou a tendência de estabilização das concentrações a partir da relação L/S igual a 3,0 L/kg.

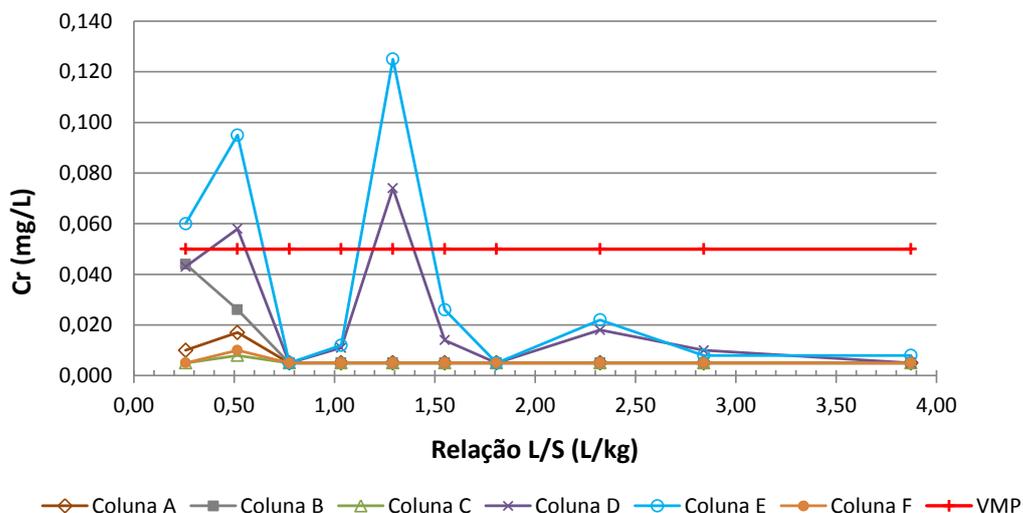


Figura 2 - Concentrações de sulfato obtidas a partir das amostras de lixiviados



Fato interessante pode ser observado nos resultados do metal cromo. As colunas em regime não saturado excederam o VMP para consumo humano, no entanto as colunas em regime saturado não ultrapassaram o VMP no experimento, conforme ilustra a Figura 3. Esse fato pode ser explicado devido à interferência do experimento, no regime saturado o fluxo do líquido lixiviante é ascendente e o reservatório de coleta de percolados fica na parte superior das colunas, já o regime não saturado ocorre o inverso, ou seja, o fluxo é descendente com reservatório inferior, o que poderia favorecer esse último na coleta dessas formações de precipitados.

Figura 3 - Concentrações de cromo obtidas a partir das amostras de lixiviados





Com base no comparativo dos ensaios realizados no experimento 1 observou-se que as amostras de ARC, excederam 6 (seis) parâmetros quando comparadas a padrões de potabilidade (VMP), cujas concentrações máximas obtidas foram: Pb (0,13 mg/L); Cd (0,065 mg/L); Ni (0,074 mg/L); Fe (0,30 mg/L); Cr (0,125 mg/L); e Al (3,44 mg/L). Com relação as amostras de ARM, estas excederam os mesmos parâmetros que as amostras de ARC, incluindo também o sulfato, a dureza, e o bário. As concentrações máximas obtidas para os ARM foram: sulfato (950 mg/L); Pb (0,26 mg/L); Cd (0,075 mg/L); Ni (0,088 mg/L); Fe (0,658 mg/L); Cr (0,017 mg/L); Al (2,84 mg/L), e Ba (0,860 mg/L).

Resultados do experimento 2

A Tabela 4 apresenta a relação das colunas, seu regime e o tipo de resíduo ensaiado nesse experimento 2.

Tabela 4 – Relação das colunas, seu regime, e o tipo de resíduo ensaiado no experimento 2.

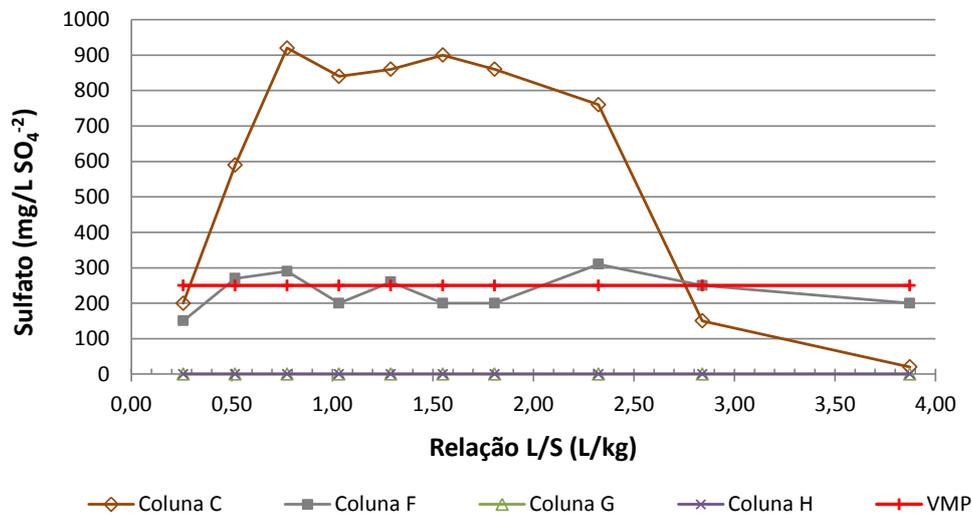
Coluna	Regime	Tipo de Resíduo
C	Saturado	RCC aterro ⁽¹⁾
F	Não Saturado	RCC aterro ⁽¹⁾
G	Saturado	Branco de laboratório
H	Não saturado	Branco de laboratório

⁽¹⁾ Resíduo padrão representativo dos RCC que foram destinados a cava do aterro de RCC

Quanto a sulfatos podemos observar na Figura 4 coluna C um elevado crescimento até a relação L/S igual 0,77, a qual apresentou decaimento moderado entre a relação L/S 0,77 a 2,32, e a partir da relação L/S igual a 2,32 um rápido decaimento. Cabe ser relatado que quando o experimento na relação L/S igual a 2,32 apresentou uma película escura no fundo do reservatório da coluna C, e o lixiviado começou a exalar um odor de “ovo podre”. O ocorrido consistiu na precipitação de enxofre na coluna saturada com a formação de gás sulfídrico (H₂S), provavelmente devido à presença de pequenas frações de gesso, conforme relata a literatura. Esse fato não ocorreu na coluna insaturada, pois a redução do sulfato está associada a condições anaeróbias – existentes somente nas colunas saturadas. Fato foi semelhante ao relatado na coluna C do experimento 2, ocorreu no estudo de Townsend (2009), o qual submeteu amostras de resíduos concreto na presença de gesso, sob condições anaeróbias, pH baixo e matéria orgânica, depois de algum tempo decorrido pode-se observar que as amostras de concreto escureceram.

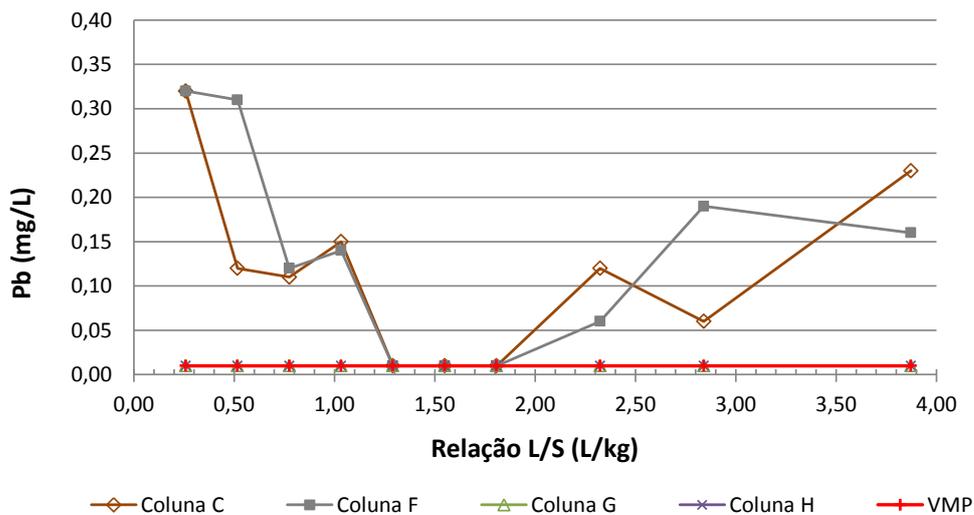


Figura 4- Concentrações de sulfato obtidas a partir das amostras de lixiviados



Na Figura 5 é possível observar tendências bem definidas de crescimento e decréscimo das curvas de contaminação, as quais podem ser justificadas por mecanismos de sorção ou precipitação do chumbo. Coleman, Lee e Slipper (2005) realizaram estudos sobre a interação aquosa de íons de Cu⁺², Zn⁺² e Pb⁺² com finos de resíduos de concreto. Os autores descobriram que os finos de concreto possuem efeito de sorção para esses metais em virtude das trocas de íons e pH elevado. Partículas de 1 a 2 mm de concreto em meio aquoso removeram Cu⁺² (35 mg/g), Zn⁺² (33 mg/g) e Pb⁺² (37 mg/g).

Figura 5 - Concentrações de chumbo obtidas a partir das amostras de lixiviados





O experimento 2 apresentou concentrações máximas que excederam os VMP para consumo humano, com relação aos seguintes parâmetros: sulfato (920 mg/L); Pb (0,36 mg/L), Cd (0,027 mg/L); Ni (0,069 mg/L); Ba (1,205 mg/L); Mn (0,297 mg/L); e Al (0,739 mg/L).

Comparativo dos resultados dos experimentos

Com base no comparativo dos ensaios realizados no experimento 1 e 2 (Tabela 5), pode-se verificar que os experimentos apresentaram parâmetros com concentrações máximas da mesma ordem de grandeza, exceto para parâmetros como: alcalinidade, cálcio, Mg, dureza, COT, Zn, Ba, Cu, Cd, Cr, Fe, Mn e Al. No experimento 2, as concentrações de cálcio, e magnésio foram superiores quando comparadas com o experimento 1.

Tabela 5 – Comparação das concentrações máximas de lixiviados obtidos nos experimentos 1 e 2

Parâmetro	Experimento 1 (RCC Classe A)			Experimento 2 (Prática dos Aterros de RCC Classe A)			VMP (mg/L)
	Concentração máxima	L/S (L/kg)	Regime	Concentração máxima	L/S (L/kg)	Regime	
pH	11,36	1,81	S ⁽¹⁾	9,56	0,52	NS ⁽²⁾	-
Condutividade (µS/cm)	2.042	0,26	NS	2.002	0,52	NS	-
Alcalinidade (mg/L)	275,20	3,87	S	594,56	3,87	S	-
Ca (mg/L)	274	0,26	S	442	0,52	S	-
Mg (mg/L)	17,91	0,26	NS	88,56	2,84	NS	-
Na (mg/L)	31,3	0,26	NS	48,0	0,26	NS	-
K (mg/L)	72	0,26	NS	76	0,52	S	-
Sulfato (mg/L)	950*	0,26	NS	920*	0,77	S	250
Dureza (mg/L CaCO ₃)	1.008*	0,26	NS	11.280	0,52	S	-
COT (mg/L)	34,19	0,52	S	185,60	0,52	S	-
Zn (mg/L)	0,156	2,84	S	0,591	0,77	NS	5,000
Pb (mg/L)	0,26*	1,55	S	0,36*	0,26	S/NS	0,010
Cu (mg/L)	0,036	0,52	S	0,019	1,55	S	2,000
Cd (mg/L)	0,075*	1,55	S	0,027*	2,32	S	0,005
Ni (mg/L)	0,088*	1,55	S	0,069*	1,03	S	0,020
Fe (mg/L)	0,658*	3,87	NS	0,300	1,55	NS	0,300
Ba (mg/L)	0,860*	2,84	S	1,205*	0,52	S	0,700
Cr (mg/L)	0,125*	1,29	NS	0,018	1,29	NS	0,050
Mn (mg/L)	0,011	0,52	NS	0,297*	3,87	NS	0,100
Ag (mg/L)	0,006	0,26	NS	0,014	2,84	S	0,100
Li (mg/L)	0,008	0,26	S	0,009	0,26	S	-
Al (mg/L)	3,440*	1,55	NS	0,739*	0,26	NS	0,200

* Parâmetros que excederam o valor máximo permitido para consumo humano (VMP)

⁽¹⁾ Regime saturado ⁽²⁾ Regime não saturado



CONCLUSÃO

Por fim, a hipótese tema do estudo foi verificada, a qual apontou que existe potencial de contaminação dos lixiviados gerados em aterros de RCC Classe A, os quais podem vir a poluir ou contaminar o solo e as águas subterrâneas, e por sua vez pode inviabilizar o uso dessas águas para consumo humano. No entanto, esse potencial de contaminação não foi somente devido à presença de resíduos de outras classes de RCC – Classe B, Classe C e Classe D – e de resíduos de outras origens. As colunas com RCC classe A apresentaram concentrações superiores para metais como o cromo, e o alumínio quando comparados com colunas com frações de RCC de outras classes. Parâmetros como alcalinidade, cálcio, Mg, dureza, COT, Zn, Ba, Cu, Cd, Cr, Fe, Mn e Al, foram superiores nas colunas com frações de RCC de outras classes. A partir dessa conclusão são recomendadas tecnologias que permitam minimizar a disposição em solo desses RCC Classe A (por exemplo, usinas de reciclagem), ou aterros que reduzam essa interação dos RCC Classe A com a qualidade das águas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007 – Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. Washington, APHA, 2005.
- ANGULO, S.C., & JOHN, V.M. (2006). **Requisitos para a execução de aterros de resíduos de construção e demolição**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/436. São Paulo: EPUSP, 2006
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 307 – **Dispõe sobre gestão dos resíduos de construção civil**. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, DF, 2002.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 396 – **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, DF, 2008.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 448 – **Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, DF, 2012a.
- _____. Portaria nº 2914. Padrões de Potabilidade. Ministério da Saúde, 2011.



- COLEMAN, N. J.; LEE, W. E.; SLIPPER, I. J. .Interactions of aqueous Cu^{2+} , Zn^{2+} e Pb^{2+} ions with crushed concrete fines. ***Journal of Hazardous Materials***, B121, 203-213, 2005.
- CÓRDOBA, R. E. (2010). **Estudo do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos de Construção e Demolição do Município de São Carlos – SP**. 2010. 406 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.
- DELAY, M.; LAGER, T.; SCHULZ, H. D.; FRITZ, F.H. Comparison of leaching tests to determine and quantify the release of inorganic contaminants in demolition waste. ***Waste Management***, nº 27, 248-255, 2007.
- FERGUSON, D. W.; MALE, J. W. .The water pollution potential from demolition waste disposal, ***Journal of Environmental Science and Health***. Part A: Environmental Science and Engineering, 15:6, 545-559, 1980.
- JANG, Y.; TOWNSEND, T.G. Occurrence of organic pollutants in recovered soil fines from construction and demolition wastes. ***Waste Management***, nº 21, 703-715, 2001.
- _____. *Effect of waste depth on leachate quality from laboratory construction and demolition debris landfill. **Environmental Engineering Science***, nº 20, 183-196, 2003.
- ROUSSAT, N.; MÉHU, J.; ABDELGHAFOR, M.; BRULA, P. Leaching behavior of hazardous demolition waste. ***Waste Management***, nº 28, 2032-2040, 2008.
- TOWNSEND, T.G.; JANG, Y.; THURN, L.G. Simulation of construction and demolition waste leachate. ***Journal of Environmental Engineering***, vol. 125, nº 11, novembro, 1999.
- TOWNSEND, T.. **Mitigation and remedial options with drywall disposal**. Technical Symposium on corrosive imported drywall. Tampa, Flórida, 5-6, November, 2009. Disponível em: < <http://www.drywallsymposium.com/SpeakerPresentations/Townsend.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2010.
- TOWNSEND, T.G.; JANG, Y.; WEBER, B. **Continued research into the characteristics of leachate from construction and demolition waste landfill**. Disponível em: < <http://floridacenter.org/publications/CDLeach.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2011.
- USEPA. **Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States**. Rep. nº 530-R-98-010, Washington D.C., 1998.
- _____. **TCLP Questions**. Disponível em: < http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/faq/faq_tclp.htm>. Acesso em fevereiro de 2011.
- _____. **Test Methods for Evaluating Solid Waste**. U.S.EPA SW-846, Office of Solid Waste 3rd. Edition, Washington D.C., 1994.