

III-116 - ANÁLISE COMPARATIVA DE ENSAIOS DE SOLUBILIZAÇÃO E LIXIVIAÇÃO APLICADAS A RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

Rodrigo Eduardo Córdoba⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Mestre e Doutorando em Ciências – Área de Concentração: Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Valdir Schalch

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

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador Saocarlense, 400 – São Carlos - SP - CEP: 13566-590- Brasil - Tel: (16) 3373 - 8695 - e-mail: cordoba@usp.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo principal comparar ensaios de solubilização e lixiviação utilizados em âmbito nacional e internacional para determinar a classificação e influência na qualidade das águas dos resíduos da construção civil (RCC) classe A – compostos por solo, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa e concreto. Para tanto, foi realizado um estudo com amostras de agregados de RCC Classe A, no qual foi efetuada uma análise comparativa dos ensaios de lixiviação e solubilização pertencentes ao compêndio de normas da ABNT (2004) – NBR 10.004 a 10.007, bem como o ensaio SW-846 Método 1312, denominado *Synthetic Precipitate Leaching Procedure* (SPLP). Resultados da pesquisa apontaram que as amostras de agregados de RCC Classe A foram classificadas, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), como sendo resíduos não perigosos e não inertes – Classe II A. Os ensaios de solubilização da NBR 10.006 (ABNT, 2004) e o ensaio de lixiviação SPLP abordaram o cenário real existente nos aterros de RCC.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos da Construção Civil. Aterro de Resíduos da Construção Civil. Classificação. SPLP. Resíduos Sólidos.

INTRODUÇÃO

No Brasil a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) e a Resolução CONAMA nº 448 (BRASIL, 2012) instituíram que os municípios seriam proibidos de destinarem os resíduos da construção civil (RCC) em aterros de resíduos sólidos urbanos, áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei.

Com isso, os geradores ficaram incumbidos de estabelecerem procedimentos para o manejo e destinação ambientalmente adequada desses resíduos. Nesse contexto, os RCC classe A, após triagem, deveriam ser destinados à reutilização ou reciclagem na forma de agregados. Na impossibilidade de reutilização ou reciclagem desses resíduos, haveria a possibilidade de destinação dessa classe de RCC para aterros de resíduos Classe A de reservação de material para usos futuros.

De acordo com a NBR 15.113 (ABNT, 2004) e a Resolução CONAMA nº 448 (BRASIL, 2012), esses resíduos devem ser dispostos no solo para a reservação dos materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área.

Entretanto, 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).

Atualmente, estudos nacionais sobre líquidos percolados de RCC ainda são limitados quando comparados com estudos sobre percolados provenientes de aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Diante desse quadro, é possível inferir que essa carência de pesquisas aprofundadas em aterros de RCC Classe A brasileiros tem refletido no pouco conhecimento gerado sobre as características qualitativas desses percolados formados nesse sistema de reservação de material.

Neste sentido, ensaios que simulem a interação desses resíduos quando dispostos em aterros de RCC são necessários. Existem vários modelos de simulação que permitem modelar um cenário teórico dos processos físico-químicos que ocorrem no interior desses aterros, como ensaios de solubilização, lixiviação e simulações em lisímetro (colunas de lixiviação) em escala laboratorial ou piloto.

No Brasil, possuímos um compêndio de normas regulamentadoras – NBR 10.004 a NBR 10.007 ABNT (2004) – que orientam os procedimentos de amostragem dos resíduos, simulação da interação do resíduo e o meio em condições estáticas e dinâmicas, e sua classificação. No entanto, essas normas se aplicam a qualquer tipo de resíduo, e simulam a interação em único cenário de disposição final (SILVA, 2002).

O presente estudo teve como objetivo principal comparar ensaios de solubilização e lixiviação utilizados em âmbito nacional e internacional para determinar a classificação e influência na qualidade das águas dos resíduos da construção civil (RCC) classe A – compostos por solo, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa e concreto.

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho, foram delineados os seguintes objetivos específicos: avaliar os extratos solubilizados e lixiviados obtidos em ensaios com amostras de RCC seguindo recomendações do compêndio de normas da ABNT (2004) – NBR 10.004 a NBR 10.007; e avaliar os extratos lixiviados obtidos por meio do ensaio recomendado pela USEPA (1994) SW-846 Método 1312, denominado *Synthetic Precipitate Leaching Procedure* (SPLP).

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram coletadas e ensaiadas amostras de agregados de RCC Classe A provenientes da Usina de Reciclagem de RCC do município de São Carlos – SP. Para tanto, a metodologia do presente estudo foi dividida em quatro fases, as quais serão descritas a seguir:

PRIMEIRA FASE: AMOSTRAGEM

Os RCC Classe A obtidos na usina de reciclagem podem ser definidos para critérios de amostragem em agregado de resíduo de concreto (ARC), 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 – e agregado de resíduo mistos (ARM), 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 de argamassa, concreto e pedras.

O material amostrado consistiu em agregados RCC Classe A processado, ou seja, material que passou pelo processo de britagem e peneiramento. Deste modo foram adotadas as diretrizes de amostragem contidas na norma de amostragem de agregados NBR NM 26 (ABNT, 2009), NBR NM 27 (ABNT, 2001) e NBR 15.116 (ABNT, 2004), em conjunto com os critérios de coleta, preservação e armazenagem da norma de amostragem de resíduos sólidos NBR 10.007 (ABNT, 2004).

O procedimento de amostragem consistiu na coleta de lotes contendo 60 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 pedrisco, 25% de pedra nº1 e 25% de pedregulho (rachão). Já para os agregados tipo ARM não foi necessário a coleta de alíquotas de várias granulometrias, pois esse material apresenta granulometria variada.

Para esse experimento foram coletados ao todo 3 lotes de cada tipo de material – ARC e ARM, totalizando 360 kg. Para coleta de amostras representativas os lotes foram coletados a cada 2 meses durante o período de um semestre.

Para amostragem dos agregados de resíduo de concreto (ARC) foram homogeneizadas as pilhas de cada tipo de agregado produzido – areia grossa, pedrisco, pedra nº1 e rachão – conforme ilustrada na Figura 1.



Figura 1 – a) Formação de pilha de agregados tipo ARC. b) Homogeneização das amostras de agregados tipo ARC. c) Coleta amostra de campo de agregados tipo ARC.

Cabe informar que a coleta das amostras de campo foi realizada em vários pontos distintos das pilhas de agregados tipo ARC, bem como foi evitado coletas na base e superfície da pilha conforme recomenda a NBR 15.116 (ABNT, 2004).

Devido os agregados de resíduo misto (ARM) possuir uma natureza mais heterogênea quando comparados com os agregados de resíduo de concreto (ARC) foi necessário amostrar uma pilha maior de material, no entanto o processo de homogeneização da pilha seria mais difícil. Para contornar essa dificuldade, foram processados no momento da coleta os agregados do tipo ARM, e coletadas amostras de campo em vários pontos distintos até formar uma pilha grande. A Figura 2 ilustra as fases do procedimento de coleta.

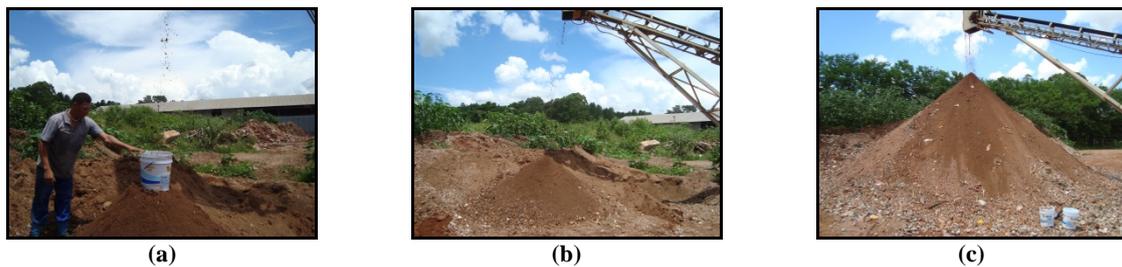


Figura 2 – a) Coleta de agregados tipo ARM no início da formação da pilha. b) Formação intermediária da pilha de ARM. c) Finalização da coleta dos agregados.

Alíquotas de 2,5 kg de agregados tipo ARC e ARM foram extraídas de cada lote pelo método de quartearmento, a fim de ensaiar essas amostras de acordo com o SW-846 Método 1312 (USEPA, 1994), e também determinar a classificação desses RCC de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004).

SEGUNDA FASE: PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para realização dos ensaios de classificação as amostras de cada tipo de material que compõe os RCC foram reduzidas em pequenos fragmentos com auxílio de uma marreta de aço, a fim de que essas passassem em uma peneira com abertura de 9,5 mm. No processo de moagem das amostras foram tomados cuidados para evitar a contaminação cruzada, para tanto à bancada e os materiais utilizados sempre foram lavados com água deionizada.

Durante o processo de moagem foi evitado o contato da amostra diretamente com a bancada mediante o uso de um pano novo e limpo. A fim de evitar que os grãos saltassem durante as batidas da marreta foi usado um guia de aço, no qual eram inseridas pequenas porções da amostra.

A Figuras 3 ilustra as amostras de ARC, equipamentos utilizados para moagem manual e uma amostra de agregado de resíduo de cimento (ARC) depois de submetidos à moagem e passarem pela peneira com abertura 9,5 mm.



Figura 3 – a) Amostra de ARC. b) Equipamentos utilizados para moagem manual das amostras classificadas . c) Amostra passante pela peneira com abertura de 9,5 mm.

Posteriormente, essas amostras foram submetidas a uma estufa a 40°C por 24 horas e determinadas a percentagem de umidade.

TERCEIRA FASE: ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

No Brasil, a NBR 10.005 ABNT (2004) define os procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, a qual utiliza como fluido de extração uma solução composta por ácido acético glacial. De acordo com a referida norma, essa foi baseada no teste da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), denominado SW-846 Method 1311 – *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Segundo a USEPA (2011) esses testes foram criados para modelar um cenário teórico em que um determinado resíduo seria mal gerenciado por ter sido enviado a um aterro sanitário sendo submetido a contato direto com a matéria orgânica facilmente degradável. Assim, de acordo com a norma americana essas condições seriam válidas somente para interações dos materiais amostrados com resíduos domiciliares, ou seja, contato com resíduos orgânicos facilmente degradáveis.

Segundo DiLallo e Albertson (1961) dos ácidos voláteis presentes nos lixiviados de aterros sanitários o ácido acético é o predominante dentre os ácidos voláteis, compreendendo de 50 a 90% do total dos ácidos voláteis. Contrera (2003) caracterizou os ácidos voláteis totais do lixiviado proveniente do aterro sanitário de Rio Claro-SP, e constatou que o ácido acético representou 52,4% do total dos ácidos voláteis. Nesse contexto, é possível verificar que o uso das normas supracitadas representariam cenários de contato do resíduo com os lixiviados de aterros sanitários.

Para ensaios de resíduos sólidos em que o contato com resíduos domiciliares seja pouco provável, como é o caso dos RCC, 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 extratora desse ensaio utiliza ácido sulfúrico e ácido nítrico para melhor representar a chuva ácida resultante de óxidos de nitrogênio e enxofre.

Diante do exposto, é recomendável que os resíduos da construção civil devam ser ensaiados de acordo com recomendações do SW-846 Método 1312 (USEPA, 1994), devido esses resíduos não interagirem com matéria orgânica facilmente degradável. Neste contexto, é valioso informar que trabalhos de pesquisadores dos EUA adotaram as soluções lixiviantes 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).

Neste estudo as amostras de RCC serão submetidas a ensaios de lixiviação conforme procedimentos recomendados pela NBR 10.005 (ABNT, 2004), o ensaio SW-846 Método 1312, denominado *Synthetic Precipitate Leaching Procedure* (SPLP).

Para obtenção do extrato lixiviado segundo o ensaio SW-846 Método 1312 foi utilizado como líquido lixiviante o fluido de extração nº 2 do Método 1312 (USEPA, 1994), cujo pH é $5,00 \pm 0,05$. Esta pesquisa optou pelo uso da referida solução de extração, pois ela é a que melhor representa o pH da chuva ácida em regiões urbanizadas do Brasil. Para preparação do fluido de extração foi realizado uma adição de 60/40 por cento em massa de uma mistura de ácido sulfúrico 50% e ácido nítrico 50%.

Para obtenção do extrato lixiviado das amostras de RCC conforme recomenda a NBR 10.005 (ABNT, 2004), foi utilizado como líquido extrator uma solução composta por ácido acético glacial.

Conforme recomendam as normatizações supracitadas, foi utilizado como equipamento extrator um agitador rotatório de frasco com velocidade 30 ± 2 rpm da marca Millipore, com frascos tipo ZHE - *Zero-Head Space Extraction Vessel* de 500mL. Cabe informar que para cada ensaio foram submetidas 25g de amostras de RCC e 500mL de solução extratora.

Para obtenção do extrato solubilizado das amostras de RCC foram seguidos os procedimentos para obtenção do extrato solubilizado da NBR 10.006 (ABNT, 2004). Para esse ensaio foi utilizada água deionizada isenta de orgânicos, conforme recomenda a NBR 10.006 (ABNT, 2004).

QUARTA FASE: ANÁLISES DOS PARÂMETROS DOS EXTRATOS

A metodologia analítica usada para análise dos extratos solubilizados e lixiviados, bem como suas referências estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Metodologia analítica usada para análise dos extratos lixiviados e solubilizados.

Parâmetro	Método	Referência
Temperatura (° C)	Termometria - 2550 B	APHA et al. (2005)
pH	Potenciométrico - 4500-H+ B	
Metais em solução (zinco, chumbo, cádmio, níquel, ferro solúvel, manganês solúvel, cobre, cromo total) (mg/L)	Espectrometria de absorção atômica - 3111 B	

RESULTADOS

A partir da secagem das amostras de agregados de RCC classe A em estufa, foi possível determinar o teor de umidade e de material seco, em porcentagem. Os resultados apontaram que as amostras ensaiadas apresentam teor de umidade com valores menores quando comparados aos resíduos domiciliares. De acordo com o Manual de Saneamento da FUNASA – Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2006) o teor de umidade dos resíduos domiciliares pode variar de 50% a 60%.

A partir dos resultados da Tabela 1 pode-se observar que agregados de resíduo de concreto (ARC) possuem teor de umidade variando de 3,52% a 12,27%, enquanto os agregados de resíduo misto (ARM) variam seu teor de umidade de 7,14% a 10,24%.

Tabela 1 – Teor de umidade e material seco

Amostra	Nº da amostra	Teor de umidade (%)	Material seco (%)
Areia Fina	1	12,27	87,73
Pedra nº 1	2	4,89	95,11
Pedrisco	3	6,17	93,83
Rachão	4	3,52	96,48
Bica Corrida (menor granulometria)	5	10,24	89,76
Bica Corrida (maior granulometria)	6	7,14	92,86

Para classificação das amostras de agregados de RCC classe A foram seguidos os passos que constam no fluxograma de classificação dos resíduos sólidos existente na NBR 10.004 (ABNT, 2004). A partir dos resultados apresentados na Tabela 2, pode-se afirmar que essas amostras podem ser classificadas como Classe II – Resíduos Não Perigosos, pois não excederam o limite máximo no extrato lixiviado. De acordo com a Tabela 3 elementos como cádmio, ferro e cromo excederam os valores do limite máximo para extrato

solubilizado, o qual consta no anexo G da NBR 10.004 (ABNT, 2004). Diante disso, é possível classificar as amostras como sendo amostras de resíduo não inerte.

De acordo com as informações apresentadas é possível inferir que as amostras de agregados de RCC classe A coletadas nesse estudo podem ser classificadas de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004) como sendo resíduo não perigoso e não inerte – Classe II A.

Tabela 2 – Resultados analíticos dos extratos lixiviados das amostras de agregados de RCC classe A, de acordo com a NBR 10.005/2004

Parâmetros	Unidade	Limite de detecção	LME ⁽²⁾	Extratos lixiviados (NBR 10.005/2004)					
				1	2	3	4	5	6
pH	-	0-14	-	6,12	6,00	7,32	7,04	7,69	6,49
Temperatura	°C	0,1	-	26	26,5	27	27	25	27
Zinco	mg/L	0,002	-	0,025	0,265	0,245	3,485	nd	0,248
Chumbo	mg/L	0,010	1,000	0,230	0,006	0,070	0,010	0,150	nd
Cádmio	mg/L	0,006	0,500	0,063	0,048	0,074	0,074	0,050	0,062
Níquel	mg/L	0,008	-	0,155	0,172	0,199	0,179	0,059	0,141
Ferro	mg/L	0,005	-	0,068	1,596	0,080	0,286	nd	0,165
Manganês	mg/L	0,003	-	2,293	1,953	1,052	1,747	0,207	0,431
Cobre	mg/L	0,003	-	0,010	0,077	0,131	0,013	0,018	nd
Cromo	mg/L	0,005	5,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Prata	mg/L	0,001	5,000	0,032	nd	nd	0,025	0,024	0,022

⁽¹⁾ nd – elemento não detectado

⁽²⁾ LME -Limite máximo no extrato definido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) “Resíduos Sólidos – Classificação” baseado no Anexo F

Tabela 3 – Resultados analíticos dos extratos solubilizados das amostras de agregados de RCC classe A, de acordo com a NBR 10.006/2004

Parâmetros	Unidade	Limite de detecção	LME ⁽²⁾	Extratos solubilizados (NBR 10.006/2004)					
				1	2	3	4	5	6
pH	-	0-14	-	9,67	10,94	10,63	11,11	10,56	10,77
Temperatura	°C	0,1	-	25	25	25	25	25	25
Zinco	mg/L	0,002	5,000	nd ⁽¹⁾	2,170	0,360	0,087	nd	nd
Chumbo	mg/L	0,010	0,010	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cádmio	mg/L	0,006	0,005	nd	0,029	0,009	nd	0,017	nd
Níquel	mg/L	0,008	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ferro	mg/L	0,005	0,300	1,235	2,027	0,574	0,320	0,206	1,084
Manganês	mg/L	0,003	0,100	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cobre	mg/L	0,003	2,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cromo	mg/L	0,005	0,050	0,077	nd	nd	0,034	nd	0,012
Prata	mg/L	0,001	0,050	nd	nd	nd	nd	nd	nd

⁽¹⁾ nd – elemento não detectado

⁽²⁾ LME -Limite máximo no extrato definido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) “Resíduos Sólidos – Classificação” baseado no Anexo G

Para o ensaio de solubilização é possível observar que as amostras de ARC ultrapassaram os valores máximos para os elementos como, cádmio, ferro e cromo. Nas amostras de pedra nº 1 e pedrisco é possível observar que existem respectivamente 6 e 1,8 vezes mais cádmio do que o permitido. Quanto aos valores de ferro as amostras de areia fina, pedra nº1, pedrisco e rachão, ultrapassaram respectivamente 4, 6,8, 1,9 e 1,1 vezes, os valores permitidos. Por fim, somente a amostra de areia fina reciclada excedeu em 1,5 vezes o valor máximo permitido para o cromo.

Quanto às amostras de ARM, no que se refere ao ensaio de solubilização, foi possível observar que metais como cádmio e ferro ultrapassaram os limites máximos da normatização. O cádmio excedeu em 3,4 vezes o valor permitido, sendo que o ferro apresentou valor superior de 3,6 vezes o limite permitido.

Os valores de pH do extrato solubilizado das amostras de ARC variaram de 9,67 a 11,11 indicando que o efeito de solubilização dessas amostras poderia alterar a características das águas tornando as com pH alcalino. De maneira análoga os ARM apresentaram valores de pH com caráter alcalino com variações de 10,56 a 10,77.

Tabela 4 – Resultados analíticos dos extratos lixiviados das amostras de agregados de RCC classe A, de acordo com a SW-846 Método 1312 - SPLP

Parâmetros	Unidade	Limite de detecção	VMP ⁽²⁾	Extratos lixiviados (SW-846 Método 1312 - SPLP)					
				1	2	3	4	5	6
pH	-	0-14	-	10,32	10,98	10,66	10,63	11,53	11,43
Temperatura	°C	0,1	-	25	24,5	25	25	23,5	23,5
Zinco	mg/L	0,002	5,000	1,339	0,030	nd	0,003	0,048	0,022
Chumbo	mg/L	0,010	0,010	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cádmio	mg/L	0,006	0,005	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Níquel	mg/L	0,008	0,020	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ferro	mg/L	0,005	0,300	0,200	0,103	0,194	0,061	0,149	0,085
Manganês	mg/L	0,003	0,100	0,002	nd	nd	0,000	0,000	0,000
Cobre	mg/L	0,003	2,000	0,010	0,003	0,003	0,003	0,010	nd
Cromo	mg/L	0,005	0,050	0,018	0,014	0,006	0,008	0,022	nd
Prata	mg/L	0,001	0,100	0,001	0,000	nd	nd	0,003	0,000

⁽¹⁾ nd – elemento não detectado

⁽²⁾ VMP – Valor máximo permitido para consumo humano pelo Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008, a qual dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Conforme apresentado na Tabela 4, os resultados do ensaio do Método 1312 (USEPA, 1994), que simula a lixiviação causada por águas de chuva levemente ácidas no aterro, apontaram os extratos de lixiviado das amostras de agregados de RCC classe A não excedem aos valores máximos permitidos para consumo humano, que conta no Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008, a qual dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Para avaliação comparativa dos ensaios de solubilização e lixiviação foram efetuadas médias das concentrações dos ARC e ARM, as quais estão apresentadas nas Figuras 4 a 7. Na Figura 4 pode-se observar que as concentrações de ARC para metais como chumbo, cádmio, níquel, cobre e prata são semelhantes para os ensaios SPLP e solubilização da NBR 10.006 (ABNT, 2004). No entanto, pode-se observar que para o cromo o ensaio de solubilização apresentou maior concentração. Fato importante de ser relatado é que o ensaio de lixiviação NBR 10.005 (ABNT, 2004) apresentou concentração superior, exceto para o cromo, quando comparado com os demais métodos utilizados. Fato semelhante ao relatado para as amostras de ARC ocorreu com as amostras de ARM, no entanto o ensaio SPLP foi apresentado maior concentração de cromo quando comparado com os demais ensaios (Figura 5).

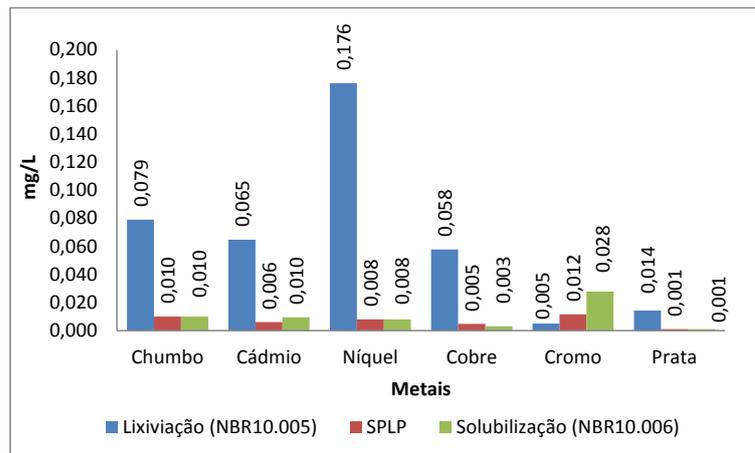


Figura 4 – Comparação dos testes para amostras de ARC e metais como Pb, Cd, Ni, Cu, Cr e Ag.

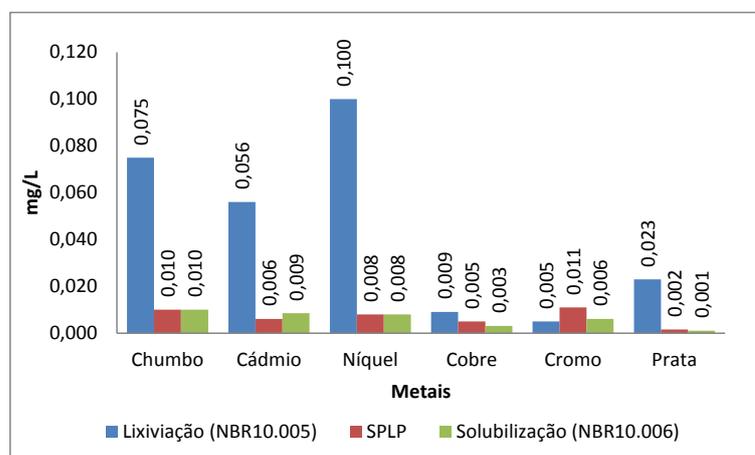


Figura 5– Comparação dos testes para amostras de ARM e metais como Pb, Cd, Ni, Cu, Cr e Ag.

Nas Figuras 6 e 7 pode-se observar que tanto para amostras de ARC quanto para amostras de ARM, o ensaio de lixiviação NBR 10.005 (ABNT, 2004) apresentou concentração superior quando comparado com os demais ensaios. Quanto ao metal ferro o ensaio de solubilização apresentou concentrações superiores quando comparado com os demais métodos.

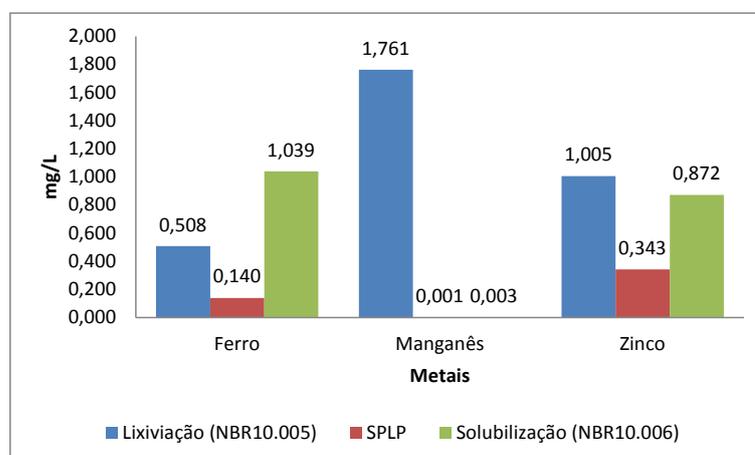


Figura 6 – Comparação dos testes para amostras de ARC e metais como Fe, Mg e Zn

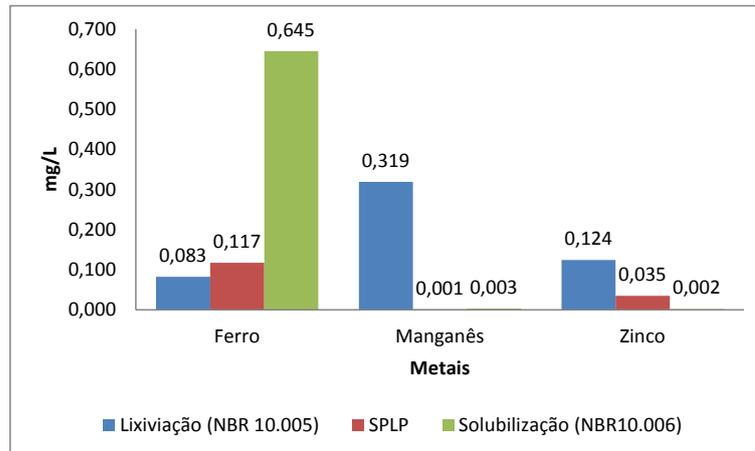


Figura 7– Comparação dos testes para amostras de ARM e metais como Fe, Mg e Zn

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

As amostras de agregados de RCC classe A foram classificadas, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), como sendo resíduos não perigosos e não inertes – Classe II A.

O ensaio de lixiviação NBR 10.005 (ABNT, 2004) tem por finalidade simular a interação dos RCC em contato direto com a matéria orgânica facilmente degradável, ou seja, representa a disposição dos RCC em aterros sanitários.

O estudo comparativo dos ensaios de solubilização e lixiviação constatou que para as amostras testadas o ensaio de lixiviação da NBR 10.005 (ABNT, 2004) provou ser o mais restritivo, embora não represente a situação real do descarte dos RCC Classe A em aterros para RCC.

Por fim, a partir dos resultados obtidos evidenciou que os ensaios SPLP e solubilização da NBR 10.006 (ABNT, 2004) apresentam valores semelhantes, e abordam o cenário real existente nos aterros de RCC.

AGRADECIMENTOS

Os autores prestam seus agradecimentos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo financiamento deste projeto, por meio dos processos 2011/50744-0 e 2011/50539-8. Ao pessoal do NEPER (Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos) pelo apoio, dicas e incentivo para realização desse estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
3. _____. NBR 10005 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
4. _____. NBR 10006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
5. _____. NBR 10007 – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

6. _____. NBR 15.112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projetos, implantação e operação. 7p. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2004.
7. _____. NBR 15.113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterro – diretrizes para projetos, implantação e operação. 12p. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2004.
8. _____. NBR 15.114: Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projetos, implantação e operação. 7p. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2004.
9. _____. NBR 15.115: Resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. 10p. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2004.
10. _____. NBR 15.116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e concretos sem função estrutural – requisitos. 12p. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2004.
11. _____. NBR NM 26 – Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.
12. BRASIL. Decreto nº 7.404/2010, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília, DF, 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em agosto de 2011.
13. BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em agosto de 2011.
14. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 307 – Dispõe sobre gestão dos resíduos de construção civil. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, DF, 2002.
15. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 348 – Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, DF, 2004.
16. BRASIL. 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.
17. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 431 – Altera o art. 3º da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, DF, 2011.
18. BRASIL. 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, 2012.
19. CONTRERA, R. C. Tratamento biológico de líquidos percolados de aterros sanitários utilizando reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF). 2013. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.
20. DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct titration. Journal Water pollution Control Federation. V33, n.4, p. 350-364. 1961.
21. 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.
22. JANG, Y.; TOWNSEND, T.G.. Effect of waste depth on leachate quality from laboratory construction and demolition debris landfill. Environmental Engineering Science, nº 20, 183-196, 2003.
23. SILVA, T. V.; LANGE, L. C.; TELLO, C. C. O.; TEIXEIRA, L. A. V. Estudo comparativo de normas de lixiviação aplicadas a resíduos perigosos solidificados/estabilizados em cimento. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancun México, 27 al 31 de outubro, 2002.
24. 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.
25. WEBER, W. J.; JANG, Y.; TOWNSEND, T. G.; LAUX, S. Leachate from land disposed residential construction waste. Journal of Environmental Engineering, 128, 237-245, 2002.