

ÁREA TEMÁTICA 1: GESTÃO AMBIENTAL

LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO DE ELEMENTOS CONTAMINANTES DE REJEITO DE FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO – ANÁLISE PARA APROVEITAMENTO DO REJEITO EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Fernanda Maria Belotti¹ (fernandabelotti@unifei.edu.br), Marcela Roberta Almeida Ferreira¹ (marcelarobertaaf@gmail.com), Sérgio Pacífico Soncim¹ (sergiops@unifei.edu.br), Marconi Oliveira de Almeida¹ (marconi.almeida@unifei.edu.br), Carlos Augusto de Souza Oliveira¹ (drcarlosaugustooliveira@gmail.com), Erinaldo Hilário Cavalcante² (erinaldohc@gmail.com), Laís Resende³ (lais.resende@vale.com)

1 Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira

2 Universidade Federal de Sergipe

3 Vale S.A.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os riscos de contaminação ambiental advindos do aproveitamento de rejeitos de flotação de minério de ferro na construção de pavimentos rodoviários. Amostras de rejeito foram submetidas a ensaios de lixiviação segundo ABNT NBR 10005 e de solubilização segundo ABNT NBR 10006. Os resultados indicaram que nos ensaios de lixiviação todos os elementos analisados - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, fluoreto, mercúrio, prata e selênio estiveram dentro do limite preconizado pela NBR 10004 para classificação de resíduos. Os resultados dos ensaios de lixiviação indicam que não há risco de lixiviação de contaminantes do rejeito de flotação de minério de ferro. Os resultados dos ensaios de solubilização indicaram a conformidade com a NBR para os parâmetros alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, cloreto, ferro, fluoreto, mercúrio, cobre, cromo, nitrogênio nitrato, prata, selênio, sódio, surfactantes e zinco. Os teores de fenóis e de manganês estiveram acima da norma em todas as amostras analisadas, exceto para fenóis na amostra de número doze. Os resultados dos ensaios de solubilização indicam, portanto, a necessidade de avaliar o comportamento destes elementos quando misturados aos demais componentes comumente utilizados em pavimentação asfáltica. Recomenda-se a confecção de corpos de prova simulando a composição real das camadas de pavimentos e a realização de ensaios de lixiviação e solubilização nos mesmos, buscando avaliar a influência dos demais componentes de pavimentos na redução da solubilidade do manganês e dos fenóis, de forma a garantir que os teores destes elementos sejam mantidos dentro do preconizado pela NBR.

Palavras-chave: Rejeito de minério de ferro; Lixiviação; Solubilização.

LEACHING AND SOLUBILIZATION OF POLLUTANTS FROM IRON ORE FLOTATION TAILINGS – ANALYSIS FOR THE USE OF TAILINGS IN ASPHALT PAVING

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the risks of environmental contamination arising from the use of iron ore flotation tailings in the construction of road pavements. Tailings samples were submitted to leaching tests according to ABNT NBR 10005 and solubilization according to ABNT NBR 10006. The results indicated that in the leaching tests all elements analyzed - arsenic, barium, cadmium, lead, chromium, fluoride, mercury, silver and selenium were within the limits recommended by NBR 10004 for waste classification. The results of the leaching tests indicate that there is no risk of leaching of contaminants from the iron ore flotation tailings. The results of the solubilization tests indicated compliance with NBR for the parameters aluminum, arsenic, barium, cadmium, lead, cyanide, chloride, iron, fluoride, mercury, copper, chromium, nitrogen, silver,

selenium, sodium, surfactants and zinc. The phenol and manganese contents were above the norm in all the analyzed samples, except for phenols in the sample of number twelve. The results of the solubilization tests therefore indicate the need to evaluate the behavior of these elements when mixed with other components commonly used in asphalt paving. It is recommended the preparation of specimens simulating the actual composition of the pavement layers and the performance of leaching and solubilization tests in them, in order to evaluate the influence of the other pavement components in reducing the solubility of manganese and phenols, to ensure that the contents of these elements will be kept within the one recommended by the NBR.

Keywords: Iron ore tailings; Leaching; Solubilization.

1. INTRODUÇÃO

As diversas atividades produtivas geram, em maior ou menor proporção, resíduos que necessitam ser dispostos, o que aumenta o custo de produção de bens e a necessidade de atendimento às exigências de proteção ambiental para a destinação adequada de tais subprodutos.

Nos últimos anos, a grande quantidade de resíduos gerados associada às exigências de proteção ambiental conduziram a uma regulamentação dos resíduos, visando a sua destinação segura e ambientalmente sustentável, introduzindo os resíduos na agenda da pesquisa e aumentando significativamente os custos de destinação final dos mesmos (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

A geração cada vez mais acentuada de resíduos torna urgente a definição de formas economicamente e ambientalmente adequadas de disposição dos mesmos, conduzindo ao maior interesse por sistemas de produção de ciclo fechado, onde os resíduos passam a ser matérias-primas de novos produtos.

O aproveitamento dos resíduos torna-se, portanto, cada vez mais necessário no mundo contemporâneo devido ao grande acúmulo destes materiais, aos custos relacionados à sua destinação final e aos riscos ambientais e à saúde humana oriundos de sua disposição inadequada (BRASIL, 2010). Neste contexto, a gestão dos resíduos passa a ser parte importante do processo de produção, buscando definir estratégias de reciclagem e reutilização dos mesmos.

Na produção de minério de ferro são geradas toneladas de rejeitos por dia, que são dispostos em barragens de contenção, o que representa um custo adicional na produção do minério, devido à necessidade de disposição de tais rejeitos e de monitoramento constante das barragens, visando impedir a ocorrência de impactos ambientais. O cenário enfatiza a necessidade de uma gestão eficiente dos resíduos produzidos, buscando, sempre que possível, maximizar o seu reaproveitamento (BRASIL, 2011).

Vale mencionar também que os tipos de rejeitos de minério de ferro variam conforme o processo de concentração empregado na etapa de beneficiamento e com as características da jazida mineral, de onde é extraído o ROM (*Run of Mine*), que alimentará as usinas de tratamento de minérios (DUTRA et al., 2019). Dessa maneira, torna-se ainda mais desafiador a destinação mais sustentável desses materiais.

Por outro lado, a utilização de resíduos em larga escala, sem uma base científica bem desenvolvida e em desacordo com normas técnicas e ambientais pode resultar em problemas ambientais e de saúde pública ainda mais significativos que aqueles ocasionados pela geração dos resíduos (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

Neste sentido, para garantir um aproveitamento adequado dos resíduos é importante realizar uma caracterização qualitativa dos mesmos, visando identificar os riscos de contaminação ambiental advindos do emprego de resíduos como insumo para outros setores produtivos. A análise do potencial de contaminação dos resíduos constitui-se em etapa essencial para definição de alternativas de reaproveitamento destes materiais.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os riscos de contaminação ambiental advindos do aproveitamento de rejeitos de flotação de minério de ferro como material constituinte de pavimentos rodoviários.

3. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos foram realizados em três etapas: i) amostragem de rejeitos de flotação de minério de ferro; ii) realização de ensaios de lixiviação e de solubilização nas amostras de rejeito; iii) interpretação e análise dos dados; conforme descrito a seguir.

3.1 Amostragem de rejeitos de flotação de minério de ferro

As amostras utilizadas neste estudo são provenientes do processo de flotação de minério de ferro realizado na Mina Cauê operada pela empresa Vale S/A, localizada no município de Itabira/MG. Foram coletadas 18 (dezoito) amostras de rejeito no duto de saída da flotação. As amostras foram devidamente acondicionadas em recipientes inertes e esterilizados, refrigeradas e encaminhadas à laboratório técnico especializado em classificação de resíduos, seguindo procedimentos NBR 10007 e Cetesb (2017).

3.2 Realização de ensaios de lixiviação e de solubilização em amostras de rejeitos de flotação de minério de ferro

Para avaliar o comportamento dos rejeitos em relação aos riscos de contaminação ambiental foram realizados ensaios de lixiviação segundo ABNT NBR 10005 e de solubilização segundo ABNT NBR 10006 em laboratório técnico especializado em classificação de resíduos. Os ensaios buscam avaliar a mobilidade e a solubilidade de elementos químicos potencialmente contaminantes presentes nas amostras.

Foram analisados os teores totais dos seguintes elementos: i) parâmetros inorgânicos: alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, cianeto, cloretos, cobre, ferro, fluoreto, manganês, mercúrio, nitrogênio nitrato, selênio, sódio, sulfatos, surfactantes, prata, selênio, ii) parâmetros orgânicos: fenóis. Tais parâmetros estão especificados nas normas ABNT NBR 10005:2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos e ABNT NBR 10006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, considerando o tipo de resíduo a ser analisado. A avaliação dos teores de surfactantes, fenóis e hidróxido de sódio é justificada pela presença desses elementos nos reagentes utilizados no processo de flotação.

A análise dos extratos de lixiviação e de solubilização foi realizada de acordo com os métodos: SM-3120B (alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, prata, selênio, sódio e zinco); SM-3112B (mercúrio); SM-4500-CN (cianeto); SM-4500-CI (cloretos); SM-5530D (fenóis); SM-4500 F (fluoreto); EPA SW-846 (nitrato); SM 4500SO₄²⁻-E (sulfato) e SM 5540 C (surfactantes).

3.3 Interpretação dos dados de classificação dos resíduos de flotação

Os dados dos ensaios de lixiviação e de solubilização foram interpretados buscando avaliar a conformidade com a norma ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, definir os riscos potenciais de contaminação ambiental e sugerir ações a serem desenvolvidas para garantir a viabilidade ambiental de emprego dos rejeitos de flotação de minério de ferro na produção de pavimentos asfálticos rodoviários.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de lixiviação das amostras de rejeito de flotação de minério de ferro são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados ensaios de lixiviação

Amostra	PARÂMETRO								
	As	Ba	Cd	Pb	Cr	F ⁻	Hg	Ag	Se
	LIMITE NBR (mg/L)								
	1	70	0,5	1	5	150	0,1	5	1
1	<0,005	<0,1	0,0046	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
2	<0,005	0,18	0,0046	<0,005	0,021	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
3	<0,005	0,10	0,0043	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
4	<0,005	0,11	0,0043	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
5	<0,005	0,23	0,0036	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
6	<0,005	0,23	0,0039	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
7	<0,005	0,27	0,0040	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
8	<0,005	<0,1	0,0039	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
9	<0,005	0,19	0,0050	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
10	<0,005	<0,1	0,0048	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
11	<0,005	<0,1	0,0041	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
12	<0,005	0,11	0,0046	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
13	<0,005	0,14	<0,0005	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
14	<0,005	0,22	0,0047	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
15	<0,005	0,32	0,0051	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
16	<0,005	0,32	<0,0005	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
17	<0,005	0,31	0,0046	<0,005	<0,01	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01
18	<0,005	0,51	0,0064	<0,005	0,021	<0,10	<0,0002	<0,01	<0,01

Os resultados indicaram que todos os parâmetros analisados – arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, fluoreto, mercúrio, prata e selênio estiveram dentro do limite preconizado pela NBR.

Os teores de arsênio, chumbo, fluoreto, mercúrio, prata e selênio foram idênticos para as 18 (dezoito) amostras analisadas e estiveram bem abaixo do preconizado pela norma, encontrando-se abaixo do limite de detecção do método empregado.

Os teores de bário, cádmio e cromo não apresentaram variações significativas nas amostras analisadas, encontrando-se bem abaixo do limite estabelecido pela NBR.

Os resultados dos ensaios de lixiviação indicam, portanto, que não há risco de lixiviação de contaminantes do rejeito de flotação de minério de ferro, assegurando que o aproveitamento do rejeito em pavimentação asfáltica não representa risco de contaminação ambiental relacionado à lixiviação dos elementos analisados.

Os resultados dos ensaios de solubilização das amostras de rejeito de minério de ferro são apresentados nas Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3.

A Tabela 2.1 apresenta os resultados dos ensaios para os parâmetros alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto e cloreto.

Os resultados dos ensaios de solubilização das amostras de rejeito de flotação de minério de ferro indicaram que os parâmetros alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto e cloreto encontram-se dentro do limite preconizado pela norma NBR.

Os resultados dos parâmetros alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cianeto e cloreto foram idênticos para as 18 (dezoito) amostras analisadas e estiveram abaixo do limite de detecção do método. Os teores de bário variaram de <0,1 (abaixo do limite de detecção do método empregado) a 0,23 nas amostras analisadas; estando bem abaixo do limite e 0,7 mg/L, estabelecido pela NBR, conforme Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Resultados ensaios de solubilização para Al, As, Ba, Cd, Pb, Cn⁻ e Cl⁻

Amostra	PARÂMETRO						
	Al	As	Ba	Cd	Pb	Cn ⁻	Cl ⁻
	LIMITE NBR (mg/L)						
	0,2	0,01	0,7	0,005	0,01	0,07	250
1	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
2	<0,1	<0,005	0,13	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
3	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
4	<0,1	<0,005	0,13	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
5	<0,1	<0,005	0,18	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
6	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
7	<0,1	<0,005	0,18	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
8	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
9	<0,1	<0,005	0,14	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
10	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
11	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
12	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
13	<0,1	<0,005	0,21	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
14	<0,1	<0,005	0,10	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
15	<0,1	<0,005	0,22	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
16	<0,1	<0,005	0,23	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
17	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1
18	<0,1	<0,005	<0,1	<0,0005	<0,005	<0,02	<0,1

A Tabela 2.2 apresenta os resultados dos ensaios de solubilização para os parâmetros fenóis totais (C₆H₅OH), ferro, fluoreto, manganês, mercúrio, cobre e cromo.

Tabela 2.2. Resultados ensaios de solubilização para C₆H₅OH, Fe, F⁻, Mn, Hg, Cu e Cr

Amostra	PARÂMETRO						
	C ₆ H ₅ OH	Fe	F ⁻	Mn	Hg	Cu	Cr
	LIMITE NBR (mg/L)						
	0,01	0,3	1,5	0,1	0,001	2	0,05
1	0,07	0,14	0,22	2,45	<0,0002	<0,005	<0,01
2	0,06	<0,1	<0,10	4,12	<0,0002	<0,005	<0,01
3	0,07	<0,1	<0,10	1,05	<0,0002	<0,005	<0,01
4	0,13	<0,1	<0,10	4,27	<0,0002	<0,005	<0,01
5	0,09	<0,1	<0,10	5,72	<0,0002	<0,005	<0,01
6	0,11	<0,1	0,21	1,75	<0,0002	<0,005	<0,01
7	0,08	<0,1	0,15	9,10	<0,0002	<0,005	<0,01
8	0,05	<0,1	<0,10	0,52	<0,0002	<0,005	<0,01
9	0,11	<0,1	<0,10	6,31	<0,0002	<0,005	<0,01
10	0,07	<0,1	<0,10	0,39	<0,0002	<0,005	<0,01
11	0,06	<0,1	<0,10	1,0	<0,0002	<0,005	<0,01
12	<0,003	<0,1	<0,10	2,32	<0,0002	<0,005	<0,01
13	0,11	<0,1	<0,10	5,39	<0,0002	<0,005	<0,01
14	0,33	<0,1	<0,10	1,09	<0,0002	<0,005	<0,01
15	0,09	<0,1	<0,10	1,39	<0,0002	<0,005	<0,01
16	0,06	<0,1	0,25	1,52	<0,0002	<0,005	<0,01
17	0,11	<0,1	<0,10	1,0	<0,0002	<0,005	<0,01
18	0,19	<0,1	0,50	0,72	<0,0002	<0,005	<0,01

Os resultados dos ensaios de solubilização das amostras de rejeito de flotação de minério de ferro para os parâmetros ferro, fluoreto, mercúrio, cobre e cromo encontram-se dentro do limite estabelecido pela norma.

Os teores de ferro, mercúrio, cobre e cromo foram idênticos para as 18 (dezoito) amostras analisadas e estiveram abaixo do limite de detecção do método empregado (exceto para o elemento ferro na amostra 1, com teor de 0,14 mg/L) e bem abaixo do limite preconizado pela NBR.

Os teores de fluoreto variam de <0,10 (abaixo do limite de detecção do método empregado) a 0,50 mg/L; estando bem abaixo do limite de 1,5 mg/L, preconizado pela NBR.

O parâmetro fenóis totais (C₆H₅OH) apresentou resultados acima do limite máximo estabelecido pela NBR em 17 (dezesete) das 18 (dezoito) amostras analisadas; enquanto que para o parâmetro manganês todos os resultados estiveram acima do limite máximo permitido.

Os teores de fenóis totais variaram de <0,003 (abaixo do limite de detecção do método utilizado) a 0,33 mg/L, valor bem acima do limite máximo de 0,01 mg/L. Os valores apresentaram grande variação nas amostras analisadas. Os fenóis totais estão associados aos insumos aplicados no processo de flotação do minério.

Os teores de manganês variaram significativamente nas amostras analisadas, com teor mínimo de 0,39 e teor máximo de 9,10 mg/L; sendo que o limite máximo de acordo com a NBR é de 0,1 mg/L. A Tabela 2.3 apresenta os resultados dos ensaios para os parâmetros nitrogênio nitrato, prata, selênio, sódio, sulfato (SO₄²⁻), surfactantes e zinco.

Tabela 2.3. Resultados ensaios de solubilização N-NO₃, Ag, Se, Na, SO₄²⁻, surfactantes e Zn

Amostra	PARÂMETRO						
	N-NO ₃	Ag	Se	Na	SO ₄ ²⁻	Surfact.	Zn
	LIMITE NBR (mg/L)						
	10	0,05	0,01	200	250	0,5	5
1	3,70	<0,01	<0,01	7,07	<3,0	0,18	0,10
2	1,60	<0,01	<0,01	7,43	<3,0	<0,10	0,07
3	<0,23	<0,01	<0,01	7,09	<3,0	<0,10	0,05
4	<0,23	<0,01	<0,01	8,68	<3,0	<0,10	0,07
5	<0,23	<0,01	<0,01	8,59	<3,0	<0,10	0,04
6	2,90	<0,01	<0,01	7,47	<3,0	<0,10	0,05
7	<0,23	<0,01	<0,01	7,90	<3,0	<0,10	0,05
8	<0,23	<0,01	<0,01	7,23	<3,0	0,25	0,06
9	<0,23	<0,01	<0,01	9,95	841	<0,10	0,05
10	<0,23	<0,01	<0,01	7,62	<3,0	0,31	0,05
11	<0,23	<0,01	<0,01	8,38	<3,0	0,25	0,06
12	<0,23	<0,01	<0,01	8,96	<3,0	0,21	0,05
13	1,20	<0,01	<0,01	10,92	<3,0	<0,10	0,06
14	0,23	<0,01	<0,01	9,10	<3,0	0,16	0,05
15	1,00	<0,01	<0,01	4,61	<3,0	<0,10	0,06
16	<0,23	<0,01	<0,01	4,89	<3,0	<0,10	0,04
17	<0,23	<0,01	<0,01	4,95	<3,0	<0,10	0,06
18	<0,23	<0,01	<0,01	29,73	39,8	0,25	0,05

Os teores dos elementos prata e selênio foram idênticos em todas as amostras analisadas, estando abaixo do limite de detecção do método e dentro do limite preconizado pela norma brasileira.

Os teores de nitrogênio nitrato variaram de <0,23 (abaixo do limite de detecção do método empregado) a 3,70; valor bem inferior ao limite máximo de 10 mg/L.

Os teores de sódio variaram entre 4,61 a 29,73 mg/L; também bem abaixo do limite máximo de 200 mg/L.

Os teores de sulfato encontrados estiveram abaixo do limite de detecção do método - <3,0 mg/L; exceto para as amostras 9 e 18, que apresentaram teores de 841 e 39,8 mg/L, respectivamente. Apenas a amostra de número 9 esteve em desconformidade com a norma, apresentando teor de 841 mg/L; enquanto que o limite máximo de acordo com a NBR é de 250 mg/L.

Os teores de surfactantes e zinco apresentaram pequena variação entre as amostras analisadas, com todos os valores dentro do limite preconizado pela norma brasileira.

Os resultados dos ensaios de solubilização das amostras analisadas indicam a conformidade com a norma de classificação de resíduos para os parâmetros alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, cloreto, ferro, fluoreto, mercúrio, cobre, cromo, nitrogênio nitrato, prata, selênio, sódio, surfactantes e zinco.

O teor de sulfato (SO_4^{2-}) esteve acima da norma apenas para 1 (uma) das 18 (dezoito) amostras analisadas. Os teores de fenóis totais e de manganês estiveram acima da norma em todas as amostras analisadas, exceto para fenóis totais na amostra de número doze.

A presença de manganês reflete a composição química das rochas existentes nas áreas mineradas do Complexo Minerador de Itabira. Vale ressaltar que essa é uma característica da geologia do Quadrilátero Ferrífero, região onde se localiza a Mina de Cauê. Os metais (ferro, alumínio e manganês) estão presentes naturalmente nos solos brasileiros (Latossolos), os quais são compostos principalmente por caulinita, óxidos de ferro (goethita e hematita) e óxidos de alumínio (gibbsita), e o mesmo vale para as águas subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero, que possuem em sua composição tais metais, refletindo assim a característica da geologia local. A presença de fenóis é decorrente do processo de concentração adotado na Usina da Mina de Cauê. O processo de concentração adotado nesse site é a flotação reversa que utiliza como reagentes a amina e o amido.

5. CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios de lixiviação das amostras de rejeito de flotação de minério de ferro indicaram que todos os elementos analisados - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, fluoreto, mercúrio, prata e selênio estiveram dentro do limite preconizado pela NBR 10004 para classificação de resíduos. Os resultados dos ensaios de lixiviação indicam que não há risco de lixiviação de contaminantes do rejeito de flotação de minério de ferro.

Os resultados dos ensaios de solubilização indicaram a conformidade com a NBR para os parâmetros alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, cloreto, ferro, fluoreto, mercúrio, cobre, cromo, nitrogênio nitrato, prata, selênio, sódio, surfactantes e zinco. Os teores de fenóis e de manganês estiveram acima da norma em todas as amostras analisadas, exceto para fenóis na amostra de número doze.

Os resultados dos ensaios de solubilização indicam, portanto, a necessidade de avaliar o comportamento destes elementos quando misturados aos demais componentes comumente utilizados em pavimentação asfáltica, uma vez que a interação entre o rejeito e demais materiais como solo, calcário, cimento, etc. pode favorecer a retenção dos elementos contaminantes, impedindo a sua solubilização.

Recomenda-se a confecção de corpos de prova simulando a composição real das camadas de pavimentos e a realização de ensaios de lixiviação e solubilização nos mesmos, buscando avaliar a influência dos demais componentes de pavimentos na redução da solubilidade do manganês e dos fenóis, de forma a garantir que os teores destes elementos sejam mantidos dentro do preconizado pela NBR, assegurando que o aproveitamento de rejeito de flotação de minério de ferro em pavimentação asfáltica não represente risco de contaminação ambiental.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Fapemig pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto "Avaliação do desempenho estrutural e funcional de trechos experimentais construídos com rejeito de flotação de minério de ferro na composição das suas camadas" e pela bolsa de estudo concedida à segunda autora.

À Vale S.A. pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto "Estudo da viabilidade técnica de utilização do rejeito de flotação de minério de ferro em pavimentos rodoviários".

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos-ProfÁgua, projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015, à Coordenação de Aperfeiçoamento

de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Agência Nacional de Águas (ANA) e à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) - Campus Itabira.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. BRASIL. Constituição (2010). Lei nº 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. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 04 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resíduos Sólidos de Mineração. In: _____ Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2018.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). Apêndice E - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. In: _____. Qualidade das Águas interiores no Estado de São Paulo. São Paulo: Cetesb, 2017. p. 1-52. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 04 maio 2018.

DUTRA, Rodrigo Amaral; RESENDE, Laís; MALHEIROS, Christiane. Strategy and Innovations for the Reuse of Iron Ore Tailings. Minexcellence Congress, Chile, 2019.

RIBEIRO, Daniel Vêras; MORELLI, Márcio Raymundo. RESÍDUOS SÓLIDOS: PROBLEMA OU OPORTUNIDADE? Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2009.