

Gestão de resíduos sólidos industriais: análise de resíduo sólido siderúrgico

Flávio Andreote dos Santos¹, Márcio Pozzobon Pedroso² e André Geraldo Cornélio Ribeiro³

¹Universidade Federal de Lavras. Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais. Caixa Postal 3037. Lavras-MG, Brasil. (CEP 37200-000). E-mail: flavioandreote@gmail.com.

²Universidade Federal de Lavras. Departamento de Química. Caixa Postal 3037. Lavras-MG, Brasil (CEP 37200-000).

³Universidade Federal de Lavras. Departamento de Engenharia. Caixa Postal 3037. Lavras-MG, Brasil (CEP 37200-000).

Resumo. A pesquisa objetiva analisar um resíduo sólido industrial (RSI), proveniente da produção siderúrgica no Município de Divinópolis, no Estado de Minas Gerais, Brasil, enfatizando-se a sua destinação ambientalmente adequada e a gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) incorporados com RSI siderúrgicos. Foi realizada a análise da lixiviação e solubilização de elementos traço das cinzas volantes provenientes de empreendimentos siderúrgicos, a qual ratifica a classificação deste resíduo como classe I, conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por apresentar periculosidade devido à sua toxicidade, proveniente da elevada concentração de Pb no extrato lixiviado e de Mn no extrato solubilizado, que indicam a inserção de metais bioacumuláveis que trazem impactos ambientais negativos e danos à saúde humana, provenientes dos RSI siderúrgicos o que torna-se preocupante diante de um cenário estadual caracterizado pela gestão ambiental inadequada dos RSI siderúrgicos.

Palavras-chave: Cinzas volantes; Elementos traço; Poluição ambiental.

Abstract. Industrial solid waste management: Analysis of the siderurgy solid waste. The research aims to analyze an industrial solid waste (ISW), from the steel production in Municipality of Divinópolis in the State of Minas Gerais, Brazil, with emphasis on the environmentally sound disposal and management of waste from building waste (BW) built with steel ISW. The analysis of the leaching was conducted and solubilization of trace elements in fly ash from steel enterprises, which confirms the classification of this waste as a class I, as the Brazilian Association of Technical Standards (BATS) due to hazardous due to its toxicity, from the high concentration of Pb in the leachate Mn and extract the

Recebido
18/02/2022

Aceito
20/08/2022

Publicado
31/08/2022



Acesso aberto



ORCID

0000-0002-0682-8234
Flávio Andreote dos Santos

0000-0002-9323-3182
Márcio Pozzobon Pedroso

0000-0002-3175-5313
André Geraldo Cornélio Ribeiro

solubilized extract, indicating the insertion bioaccumulative metals which bring negative environmental impacts and damage to human health, from the steel ISW what becomes worrying before a state scenario characterized by management Environmental inadequate in steel ISW.

Keywords: Fly ash; Trace element; Environmental pollution.

Introdução

O processo de fabricação de produtos industriais gera inúmeros resíduos sólidos industriais (RSI) que ainda não possuem tecnologias adequadas para sua reutilização e reciclagem, sendo necessária à sua disposição final ou intermediária, com o intuito da posterior utilização. A crescente industrialização promoveu o aumento expressivo de resíduos industriais perigosos, sendo necessário seu adequado gerenciamento, com o intuito de minimizar os impactos negativos junto aos ecossistemas e ao próprio homem (Brito e Soares, 2009). Assim, o descarte desses resíduos torna-se uma grande preocupação social e ambiental (Oliveira e Holanda, 2004).

No Brasil e no Estado de Minas Gerais há um expressivo setor siderúrgico (IBGE, 2009), o qual gera grande quantidade de RSI que devem seguir para uma destinação ambiental adequada. Devido ao grande volume gerado de cinzas volantes, a disposição final em aterros industriais torna-se oneroso e demanda uma crescente expansão de células para contenção dos resíduos. Assim, torna-se necessária a busca por alternativas mais sustentáveis para a destinação dos resíduos gerados. Uma alternativa à disposição final adequada é a reutilização ou reciclagem dos RSI, que deve atender aos quesitos da sustentabilidade: social, econômico e ambiental. Apesar dos aspectos socioeconômicos serem mais facilmente identificáveis, as questões ambientais são mais complexas de serem verificadas e demandam mais tempo e recursos para a sua correta caracterização.

Ressalta-se do exposto a necessidade de caracterizar adequadamente o RSI e promover a correta destinação das cinzas volantes siderúrgicas, com o intuito de efetivamente executar a gestão ambiental adequada de um dos principais resíduos siderúrgicos e maximizar a sustentabilidade ambiental da atividade industrial. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Normatização Brasileira (NBR) 10004:2004 (ABNT, 2004) prioriza a origem do resíduo para realizar sua classificação, baseando-se em uma listagem de resíduos perigosos, que apresentam constituintes que possuem características de periculosidade. Todavia, se a matéria-prima, a atividade, o processo ou os insumos não são conhecidos, faz-se necessário verificar as características que podem identificá-lo como perigoso, o que demanda um maior esforço financeiro, operacional e de tempo, em relação àqueles resíduos de origem conhecida.

Atualmente vários empreendimentos cerâmicos empregam RSI siderúrgicos na produção de artefatos cerâmicos, sem existir uma regularização ambiental específica junto ao órgão de controle ambiental nacional e estadual. Alguns estudos apontam a inserção de RSI siderúrgicos à fabricação de tijolos (Oliveira e Martins, 2003; Oliveira e Holanda, 2004; Jonker e Potgieter, 2005; Vieira et al., 2007; Vieira e Monteiro, 2009), como forma de resolver os problemas inerentes a destinação adequada dos RSI. As peças cerâmicas incorporadas com RSI apresentam-se visualmente similares aos artefatos clássicos, sem adição de resíduos (Anderson et al., 1996). Os tijolos incorporados com cinzas volantes geradas durante a operação de incineradores é indistinguível dos artefatos cerâmicos comuns.

A modificação da Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004 (COPAM, 2004), do Estado de Minas Gerais, está direcionada para o emprego de RSI siderúrgicos na

incorporação junto à produção de artefatos de cerâmica, na proporção de 10%. Tal destinação apresenta-se ambientalmente adequada para os empreendimentos siderúrgicos e na visão dos órgãos de regularização e controle ambiental do Estado de Minas Gerais (COPAM, 2004), pautada em pesquisas que apresentaram a incorporação de resíduos na produção cerâmica como uma alternativa ambientalmente correta para a destinação do RSI. Entretanto, deve-se ressaltar que a normatização junto a ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004) pode classificar as cinzas volantes como resíduos não inertes ou perigosos.

Deste modo, faz-se necessária a caracterização deste RSI e a análise da gestão aplicada às cinzas volantes, com o intuito de verificar a classificação do resíduo e a viabilidade da atual reciclagem proposta. Logo, o presente trabalho tem como objetivo analisar amostras de cinzas volantes em três empreendimentos distintos no Município de Divinópolis, Estado de Minas Gerais, Brasil, com o intuito de fomentar a adequada caracterização e gestão do RSI pelos órgãos ambientais estaduais e sensibilizar os geradores e gestores para a aplicação de medidas mais protetivas ao meio ambiente e a saúde humana.

Materiais e métodos

As amostras de cinzas volantes analisadas foram obtidas junto a três empreendimentos siderúrgicos localizados no Município de Divinópolis, no Estado de Minas Gerais, Brasil, as quais empregam em sua produção o carvão vegetal como fonte de calor.

A coleta, transporte e ensaios realizados foram pautados nas Normas Brasileiras (NBR) ABNT 10004:2004, 10005:2004, 10006:2004 e 10007:2004 (ABNT, 2004), com o intuito de utilizar o padrão de análises responsável pelo direcionamento dos órgãos de controle e gestão ambiental. As análises realizadas buscaram identificar elementos traços nos extratos lixiviados e solubilizados, com o objetivo de caracterizar o RSI por meio da NBR 10004 da ABNT e verificar a atual gestão ambiental aplicada ao resíduo siderúrgico, propondo adequações e mudanças.

A metodologia foi aplicada com base nas NBR da ABNT com o uso de equipamentos, vidraria e procedimentos definidos pela norma. A concentração de elementos traço foi obtida por meio do espectrômetro de absorção atômica com chama Varian, SpectraAA 110, Melbourne, Austrália, existente no Laboratório de Análises Foliar, do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras.

Amostragem

A amostragem de resíduos sólidos está normatizada pela ABNT NBR 10007:2004 (ABNT, 2004), que fixa requisitos exigíveis, objetivando a coleta representativa do resíduo, permitindo determinar as suas características quanto à classificação e métodos de tratamento.

Foi estabelecido um plano de amostragem das cinzas volantes, dentro do grupo de três empresas distintas envolvidas no processo siderúrgico, com utilização de carvão vegetal como fonte de calor, no Município de Divinópolis, em Minas Gerais.

Com o intuito de obter a concentração média para cada resíduo, foi realizada uma amostra composta. Foram retiradas quatro alíquotas das amostras de três seções: topo, meio, base, por meio da introdução oblíqua do amostrador, ou sendo possível foi efetuado o espalhamento da pilha/monte e a coleta foi realizada por quarteamento acondicionada em recipiente de polietileno, previamente descontaminado com solução de ácido nítrico a 10%. As coletas foram realizadas com emprego de amostrador de pilhas e montes “Trier” e uma pá de polietileno, em volume de 2 L para cada empreendimento. Não foram utilizados métodos adicionais de preservação das amostras, devido às coletas terem sido realizadas

em amostras sólidas, destinada a análise de metais, com prazo previsto para armazenagem de 180 dias.

Procedimento de lixiviação

O procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos é descrito pela ABNT NBR 10005:2004 (ABNT, 2004), que objetiva diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), entre classe I, perigosos e classe II, não perigosos. Definindo como lixiviação, o processo de determinação da capacidade de transferência, por meio da dissolução no meio extrator, de substâncias presentes no resíduo sólido, sejam orgânicas ou inorgânicas.

Para a execução do procedimento de lixiviação foram aplicadas as normatizações contidas junto à ABNT NBR 10005:2004 (Brasil, 2004), pertinentes às cinzas volantes, com o intuito de quantificar as concentração de Pb, Cd e Cr Total. Após a determinação preliminar das amostras, uma alíquota de 100 g ($\pm 0,1$) foi acondicionada em frasco de lixiviação e adicionada uma quantidade de solução de extração igual a 20 vezes a massa do resíduo. O frasco foi submetido a agitação durante 18 h ($\pm 0,2$), com temperatura inferior a 25 °C e rotação de 30 ($\pm 0,2$) rpm no agitador rotatório. Após esse período, a amostra foi filtrada em um aparelho de filtração a vácuo e encaminhada para determinação de analítica dos elementos traço, no prazo inferior ao limite máximo de 180 dias.

A concentração de elementos traço foi obtida por meio do espectrômetro de absorção atômica com chama Varian, SpectrAA 110 (Melbourne, Austrália), existente no Laboratório de Análises Foliar do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Procedimento de solubilização

O procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos é normatizado pela ABNT NBR 10006:2004 (ABNT, 2004), a qual tem o objetivo de distinguir os resíduos entre classe II-A, não-inertes e classe II-B, inertes, conforme classificação contida no anexo G da ABNT NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Para a obtenção do extrato solubilizado das amostras, norteadas para a quantificação de Mn, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn e Cr Total, alíquotas de 250 g de base seca e peneirada do resíduo foram colocadas em um frasco de 1.500 mL, adicionado 1.000 mL de água destilada e agitada em baixa velocidade por 5 min. O frasco foi coberto com filme de PVC e deixado em repouso por sete dias, em temperatura de 25 °C, com posterior filtragem e encaminhamento para em prazo inferior ao limite máximo de 180 dias, para quantificação analítica por meio da espectrometria de absorção atômica.

A concentração dos elementos traço Mn, Fe, Cu, Zn e Cr Total foi obtida por meio do espectrômetro de absorção atômica com chama Varian, SpectrAA 110 (Melbourne, Austrália), existente no Laboratório de Análises Foliar do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

As análises de Cd e Pb realizadas no Laboratório de Pedologia e Geoquímica Ambiental, do Departamento de Ciências do Solo, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), utilizaram um espectrômetro de absorção atômica Perkin Elmer AAnalyst 800. Para o Cd, as temperaturas foram secagem 110 °C e 130 °C, pirólise 500 °C e atomização 1.500 °C. Para o Pb, secagem 110 °C e 130 °C, pirólise 850 °C e atomização 1.600 °C. Para ambos os modificadores foram 50 µg/L de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ + 3 µg/L de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ e a temperatura de limpeza de 2.400 °C.

Para a classificação do resíduo quanto à classe II-A, ou classe II-B, os resultados obtidos decorrentes da quantificação analítica do extrato solubilizado foram analisados conforme os padrões estabelecidos no anexo G, da ABNT NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Resultados

Os resultados obtidos para os ensaios de lixiviação e de solubilização estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, nas quais também estão expostos os limites máximos estabelecidos pela ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004).

Tabela 1. Concentração de metais no lixiviados das cinzas volantes siderúrgicas.

Parâmetro	Limite máximo NBR 10004/2004 (mg.L ⁻¹)	Concentração das amostras (mg.L ⁻¹)		
		1	2	3
Cádmio	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chumbo	1,0	0,20 ± 0,01	2,46 ± 0,01	< 0,5
Cromo total	5,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004).

Tabela 2. Concentração de metais no solubilizados das cinzas volantes siderúrgicas.

Parâmetro	Limite máximo ABNT NBR 10004/2004 (mg.L ⁻¹)	Concentração das amostras (mg.L ⁻¹)		
		1	2	3
Cádmio	0,005	0,000	0,000	0,000
Chumbo	0,01	0,002 ± 0,00	0,046 ± 0,01	0,002 ± 0,01
Cobre	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cromo total	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ferro	0,3	0,016	0,275 ± 0,007	< 0,1
Manganês	0,1	5,715 ± 1,082	6,095 ± 1,336	0,505 ± 0,148
Zinco	5	0,130 ± 0,028	0,170 ± 0,113	< 0,01

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004).

Os resultados apresentados na pesquisa indicam que as amostras de cinzas volantes analisadas estão classificadas como resíduo classe I, perigoso, junto à ABNT NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), devido à toxicidade do elemento traço Pb presente no extrato lixiviado. Os valores verificados nos extratos solubilizados indicam o RSI como não inerte devido à concentração de manganês e chumbo acima dos limites máximos estabelecidos.

Discussão

As análises realizadas nas cinzas volantes indicam que o RSI é perigoso, devido a sua toxicidade decorrente da presença de chumbo no extrato lixiviado acima dos limites máximos estabelecidos. Além de apresentar subsidiariamente característica não inerte devido a solubilização de Pb e Mn. Caracterização que norteia a gestão adequada e mais protetiva ao meio ambiente, inviabilizando a disposição em locais não específicos aos RSI perigosos.

Análises realizadas neste e em outros trabalhos indicam diferentes composições das cinzas volantes, apesar das atividades desenvolvidas estarem localizadas ambas no Estado de Minas Gerais, não sendo possível uma padronização específica que caracterize amplamente todos os resíduos. Contudo, sua composição indica a existência de compostos lixiviados e solubilizados que apontam o caráter perigoso e não inerte deste RSI. Os

elementos traços obtidos por meio dos extratos lixiviados e solubilizados das cinzas volantes indicam que este RSI pode causar impactos negativos aos ecossistemas, recursos hídricos e à saúde humana.

Atualmente vários empreendimentos cerâmicos empregam RSI siderúrgico na produção de artefatos cerâmicos, por meio da substituição parcial da argila utilizada na produção de tijolos, por cinzas volantes siderúrgicas, sem existir uma regularização ambiental específica junto ao órgão de controle ambiental nacional. A incorporação de cinzas volantes na fabricação de artefatos cerâmicos é empregada atualmente no Estado de Minas Gerais, com previsão de normatização e autorização do órgão de controle ambiental. Sem a necessidade de ensaios de lixiviação e solubilização, ensejando a disposição irregular de RSI incorporados nos RCD, com possíveis impactos ambientais negativos, devido à segregação atual dos RCD incorporados com RSI seguir a gestão para os RCD clássicos, sem adição de RSI.

A gestão atual aplicada às cinzas volantes e aos RCD incorporados com RSI deve ser rapidamente aprimorada, com o intuito de possibilitar uma adequada quantificação da geração destes resíduos, a proposição de normatizações específicas, principalmente no que tange aos RCD incorporados e possibilitar a adequação das destinações e disposições finais das cinzas volantes, em locais específicos para RSI perigosos e não inertes.

Os valores obtidos no trabalho realizado na cidade de Sete Lagoas, no Estado de Minas Gerais, no Brasil, apresentaram a concentração de $54,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ de fenóis, valor que está acima do limite máximo de 10 mg.kg^{-1} , estabelecido pela ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004) e apontam as amostras analisadas como resíduo classe I, perigoso, devido à quantidade de fenóis obtidos durante as análises. A Tabela 3 apresenta os valores obtidos por Oliveira e Martins (2003) nos ensaios com o extrato lixiviado, em comparação com os elementos traços analisados nesta pesquisa.

Tabela 3. Análise comparativa do lixiviado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003).

Parâmetro	Limite máximo	Valores em mg.L^{-1}	
	ABNT NBR 10004/2004 (mg.L^{-1})	Concentração	Oliveira e Martins (2003)
Cádmio	0,5	0,000	< 0,004
Chumbo	1,0	2,460	< 0,050
Cromo total	5,0	0,000	< 0,016

Fonte: Oliveira e Martins (2003) e ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004).

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos por Oliveira e Martins (2003), realizado no Município de Sete Lagoas, Minas Gerais, em comparação com os elementos traços analisados nesta pesquisa, referentes à média dos extratos solubilizados.

Os valores de elementos traço lixiviados e solubilizados dos extratos obtidos na presente em Oliveira e Martins (2003) indicam que há uma grande variação na concentração de metais nas amostras analisadas, coletadas no Estado de Minas Gerais. Esta variação pode decorrer da matéria prima utilizada, das pequenas modificações no processo produtivo e na correta estocagem do RSI. Uma fidedigna caracterização das cinzas volantes deve contemplar amostras de inúmeros empreendimentos localizados no estado, com o objetivo de obter grande número de variações na concentração dos elementos traço e possibilitar uma ponderação média dos valores obtidos.

Tabela 4. Análise comparativa do solubilizado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e de Oliveira e Martins (2003).

Parâmetro	Limite máximo	Valores em mg L ⁻¹	
	ABNT NBR 10004/2004 (mg.L ⁻¹)	Concentração máxima verificada	Oliveira e Martins (2003)
Manganês	0,1	6,095	0,389
Chumbo	0,01	0,046	< 0,05
Cádmio	0,005	0,00	< 0,004
Ferro	0,3	0,275	< 0,164
Cobre	2	<0,1	< 0,010
Zinco	5	0,170	< 0,001
Cromo total	0,05	<0,05	< 0,016

Fonte: Adaptada de Oliveira e Marins (2003) e ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004).

A gestão ambiental aplicada às cinzas volantes não pode ser direcionada a partir de amostras que apresentaram uma baixa concentração de elementos traço, mas sim, até que seja realizado o diagnóstico estadual da geração e classificação do RSI, ou normatizada a incorporação nas peças cerâmicas, pautar-se em medidas de prevenção e precaução devido ao caráter perigoso e não inerte das amostras que apresentam extratos lixiviados e solubilizados acima dos limites máximos normatizados.

Observa-se que o extrato solubilizado da cinza volante siderúrgica analisada apresentou a concentração de 6 mg.L⁻¹ para Mn, elemento traço que está 60 vezes acima do limite de 0,1 mg.L⁻¹ estabelecido pela normatização, anexo G da ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004). Numa proporção de 10%, conforme previsão contida na DN COPAM nº 217/2017 (COPAM, 2017), do Estado de Minas Gerais, a concentração de Mn na cerâmica incorporada com esse resíduo ainda ficaria 6 vezes acima do limite, teoricamente em torno de 0,6 mg.L⁻¹, sem considerar a concentração de Mn na argila ou se o elemento traço é perdido, ou fixado na cerâmica durante a queima. Entretanto, no caso de resíduos com alto teor de qualquer um dos contaminantes, a sugestão seria não usá-lo, como medida de prevenção e precaução dos potenciais impactos ambientais negativos. Já no caso do chumbo (Pb), para o mesmo resíduo, a concentração encontrada foi de 0,046 mg.L⁻¹ e o limite normatizado é de 0,01 mg.L⁻¹. Ou seja, ao preparar a cerâmica incorporada a 10%, a concentração de chumbo diminui para 0,0046, dez vezes menos, e estaria inferior ao limite máximo estabelecido pela norma.

A gestão dos resíduos sólidos no estado de Minas Gerais não contempla atualmente a segregação e destinação ambiental dos RCD incorporados com RSI, distinta daquela aplicada à gestão do RCD clássicos, sem adição de resíduos de outras atividades potencialmente poluidoras e degradadoras de meio ambiente. Deste modo os RSI incorporados nos RCD serão segregados visualmente e encaminhados para as destinações normatizadas para os RCD clássicos, potencializando os impactos ambientais negativos inerentes à disposição irregular de RSI, principalmente aqueles classificados como perigosos e não inertes.

A degradação da qualidade ambiental é apresentada por meio de qualquer modificação nas características ambientais, conforme estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente, disposta na Lei nº 6.938/1981 (Brasil, 1981). A gestão inadequada de RSI apresenta um grande potencial para a geração da poluição ambiental, sobretudo, no que tange a dispersão de elementos traço, com a consequente contaminação do solo, atmosfera, recursos hídricos e danos à fauna e flora.

Os elementos traço presentes nos RSI podem ser transportados por meio do lançamento de efluentes industriais, do escoamento de águas pluviais, da drenagem de

materiais e de acidentais com substâncias químicas. Os agentes contaminantes podem contaminar o solo, os recursos hídricos e impactar severamente os ecossistemas, principalmente os costeiros (Nascimento et al., 2000; Nipper, 2000), devido à biocumulação dos elementos traços nos vegetais e animais bentônicos.

Os RCD incorporados com cinzas volantes siderúrgicas com concentrações de elementos traço similares às analisadas neste trabalho, podem lixiviar e solubilizar Pb e Mn para o ambiente e promover impactos ambientais negativos. O chumbo proveniente de atividades industriais presente no solo poderá ser absorvido pelas plantas, animais domésticos e silvestres, acumulando-se a cada nível trófico, conforme pesquisa desenvolvida com ovelhas em locais contaminados com este elemento traço (Pareja-Carrera et al., 2014). O metal acumula gradativamente e, conseqüentemente, repassam esta carga para os seres humanos, processo denominado de magnificação na cadeia trófica. Outro caso de contaminação por metais se refere ao uso de água superficiais e subterrâneas contaminadas com manganês em Huangxing Town, na China Oriental, apresenta um grande risco potencial à saúde humana, devido a seu potente caráter neurotóxico (Zeng et al., 2009).

A gestão aplicada aos RSI deve ser protetiva ao meio ambiente e precaver-se de possíveis impactos ambientais, por meio da aplicação da legislação específica, das normatizações pelos órgãos de controle, do desencadeamento de ações mitigadoras das atividades potencialmente poluidoras e degradadoras. Com o intuito de evitar severos danos ambientais, de aumentar a sustentabilidade ambiental dos empreendimentos e atividades, com a conseqüente proteção dos recursos naturais, da fauna e da flora silvestre e da saúde humana.

Conclusão

As amostras de cinzas volantes siderúrgicas analisadas apresentaram lixiviação e solubilização de elementos traço Pb e Mn, acima dos limites máximos normatizados, fato que caracteriza o RSI como perigoso e não inerte.

A reciclagem do RSI siderúrgico analisado, aplicada na produção de artefatos cerâmicos no Estado de MG, indica uma inadequada gestão e disposição final irregular do RSI industrial perigoso, fato que maximiza os impactos ambientais negativos esperados, no que se refere à disposição irregular dos RSI e RCD incorporados.

Os RCD incorporados com cinzas volantes siderúrgicas não apresentam visualmente diferenças com os RCD clássicos, fato que dificulta a segregação e destinação ambiental adequada. Atualmente a incorporação do RSI siderúrgico na produção cerâmica apresenta-se como uma solução ambientalmente benéfica, para os órgãos de controle ambiental, entretanto o resíduo classifica-se como perigoso e deve ser aplicada uma gestão mais protetiva ao meio ambiente.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10005: Lixiviação de resíduos - procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10006: Solubilização de resíduos - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

Anderson, M.; Skerratt, R. G.; Thomas, J. P.; Clay, S. D. Case study involving using fluidised bed incinerator sludge ash as a partial clay substitute in brick manufacture. **Water Science and Technology**, v. 34, n. 3/4, p. 507-515, 1996. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00618-X](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00618-X)

Brasil. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 03 nov. 2021.

Brito, A. L. F.; Soares, S. R. Avaliação da integridade e da retenção de metais pesados em materiais estabilizados por solidificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 39-48, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000100005>

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. **Deliberação Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004**. Diário do Executivo de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 02 out. 2004.

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. **Deliberação Normativa nº 217, de 06 de dezembro de 2017**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, Belo Horizonte, 08 dez. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa industrial**: empresa. Rio de Janeiro: IBGE, v. 28, n. 1, 2009.

Jonker, A.; Potgieter, J. H. An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 25, n. 13, p. 3145-3149, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.07.024>

Nascimento, A.; Smith, D. H.; Pereira, S. A.; Sampaio de Araújo, M. M.; Silva, M. A.; Mariani, M. Integration of varying responses of different organisms to water and sediment quality at sites impacted and not impacted by the petroleum industry. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, n. 4, p. 449-458, 2000. <https://doi.org/10.1080/14634980008650681>

Nipper, M. Current approaches and future directions for contaminant-related impact assessments in coastal environments: Brazilian perspective. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, n. 4, p. 433-447, 2000. <https://doi.org/10.1080/14634980008650680>

Oliveira, G. E.; Holanda, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 50, n. 314, p. 75-80, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132004000200002>

Oliveira, M. R. C.; Martins, J. Caracterização e classificação do resíduo sólido “pó do balão”, gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal: estudo de um caso na Região de Sete Lagoas/MG. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 5-9, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100002>

Pareja-Carrera, J.; Mateo, R.; Rodríguez-Estival, J. Lead (Pb) in sheep exposed to mining pollution: Implications for animal and human health. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 108, p. 210-216, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.07.014>

Vieira, C. M. F.; Dias, C. A. C. M.; Mothé, A. V.; Sánchez, R.; Monteiro, S. N. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 53, n. 328, p. 381-387, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132007000400008>

Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N. Incorporation of solid wastes in red ceramics: an updated review. **Matéria**, v. 14, n. 3, p. 881-905, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762009000300002>

Zeng, G.; Liang, J.; Guo, S.; Shi, L.; Xiang, L.; Li, X.; Du, C. Spatial analysis of human health risk associated with ingesting manganese in Huangxing Town, Middle China. **Chemosphere**, v. 77, n. 3, p. 368-375, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.020>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.