

## CARACTERIZAÇÃO DA LAMA DE ALTO-FORNO VISANDO O APROVEITAMENTO AGRÍCOLA

Fábio Ribeiro de Oliveira<sup>1</sup>

Camila Santos Silveira<sup>2</sup>

Paulo Santos Assis<sup>3</sup>

**RESUMO:** A lama de alto-forno é um dos resíduos da fabricação de ferro gusa que apresenta características que trazem maiores dificuldades relacionadas ao aproveitamento e destinação final. Algumas formas de utilização deste resíduo incluem a queima em fornos de cerâmicas e metalúrgicas, visando, principalmente, o uso como fonte energética. Também existem referências da utilização da lama de alto forno como insumo na agricultura, contudo, é uma forma de aproveitamento ainda pouco explorada e dependente das propriedades do composto. Desta forma, este trabalho busca, através da classificação do resíduo e estudo das características da lama gerada em uma guseira, fornecer subsídios para análise de um possível reaproveitamento agrícola. Foram realizados testes de lixiviação e solubilização em adição aos dados da análise de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado. Os resultados, após serem confrontados com valores de referência na literatura, indicaram altas concentrações de elementos como chumbo e cromo, que inviabilizam um aproveitamento agrícola em larga escala.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura; Ferro-gusa; Gestão de resíduos; Lama de alto-forno; Reutilização.

## CHARACTERIZATION OF BLAST FURNACE SLUDGE FOR AGRICULTURAL USE

**ABSTRACT:** Blast furnace sludge is a byproduct in the manufacture of raw iron, characterized by great difficulties for reuse and final disposal. Several usages include burning in clay ovens and in metallurgy, especially as energy source. There are references for its use as an agricultural input which is scarcely employed since it

<sup>1</sup> Docente do departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia - UFBA. Doutor em Sistemas de Gestão Sustentáveis pela Universidade Federal Fluminense - UFF, Brasil.  
E-mail: fabio.ribeiro@ufba.br

<sup>2</sup> Mestre em Geologia pela Universidade Federal do Paraná - UFPR, Brasil.

<sup>3</sup> Professor titular - Departamento de engenharia metalúrgica da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Brasil.

---

depends on the compound's properties. Current paper analyzes subsidies for possible agricultural usage through the classification of wastes and the study of the characteristics of sludge produced in the furnace. Leaching and solubility tests and data from analysis of inductively coupled plasma optical emission spectrometry were undertaken. Results were matched with reference rates in the literature and indicated high concentrations of lead and chromium which make large scale agricultural usage of the product unfeasible.

**KEY WORDS:** Agriculture; Raw iron; Wastes management; High oven sludge; Reuse.

## INTRODUÇÃO

As indústrias independentes são siderúrgicas não integradas que reduzem o minério de ferro até o ferro primário (gusa), o qual pode ser destinado às aciarias ou às fundições (ALMEIDA; MELO, 2001). No Brasil, em 2014, os produtores independentes representaram aproximadamente 16% do mercado, com produção de 5,036 milhões de toneladas (BRASIL, 2015).

Tal índice de produção vem acompanhado de uma grande parcela de resíduos gerados. A indústria de fundição apresenta uma série de resíduos potencialmente contaminantes, que podem resultar em impactos ambientais negativos (SILVA, 2007; MORAES *et al.*, 2013). A limitação dos recursos naturais faz com que as empresas busquem por novos padrões de consumo e produção, além de ações visando reduzir os danos causados ao meio ambiente (CHIROLI *et al.*, 2015).

Almeida e Melo (2001) apontam que uma parte significativa das guseiras não dispõe de dados relativos à quantidade e caracterização dos resíduos e, em geral, não existe uma preocupação quanto à destinação ambientalmente adequada. O depósito dos resíduos em pátios a céu aberto, ou mesmo o descarte no meio sem ter uma caracterização dos possíveis efeitos do resíduo no solo e os corpos d'água, trazem riscos de contaminação local por elementos químicos, muitas vezes metais pesados, que poderiam atingir a biota ou mesmo a população de entorno.

A gestão dos resíduos sólidos contemplando um aprofundamento quanto às características destes materiais faz-se necessária para buscar um adequado planejamento em prol do reaproveitamento, reciclagem ou destinação final (ZANIBONI; SCHMIDT, 2014; ZACCARON *et al.*, 2015). A Lei nº 12.305 (BRASIL,

2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, apresenta, entre seus objetivos, a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Entre os resíduos das siderúrgicas não integradas que apresentam maiores dificuldades de gerenciamento, está o material particulado. Após a retenção deste material via equipamentos de limpeza do gás a seco e a úmido, a composição final dá-se na forma de pó ou lama, e representa cerca de 13% dos resíduos destas indústrias (JACOMINO *et al.*, 2000). A lama é gerada após a etapa de lavagem da poeira do gás de alto-forno e a separação dos particulados sólidos, arrastando consigo poeiras que não podem ser lançadas na atmosfera. Frente a isso, todo o material é submetido a um sistema de controle ambiental que separa as partículas sólidas.

O aproveitamento da lama do alto-forno é dificultado pela presença de metais pesados em sua composição e a fina granulometria do material (VIEIRA, 2007; DROBIKOVA *et al.*, 2016), além dos elevados teores de cinza e umidade (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Entre os exemplos referentes às formas mais utilizadas para uma destinação ambientalmente mais adequada, Trinkel *et al.* (2016) e Lobato *et al.* (2013) estudaram a reincorporação do material em altos-fornos. Mothé (2008), Vieira *et al.* (2007) e Almeida e Melo (2001) pesquisaram o aproveitamento em indústrias de cerâmica vermelha.

Devido à necessidade de se aproveitar o material em uma escala maior, outras formas para a utilização da lama também têm sido estudadas, como a utilização em meios agrícolas. Andrade (2006) e Silva (2007) apontam a possibilidade da aplicação da lama no solo, em áreas de plantio de arroz e eucalipto, respectivamente. Contudo, tornam-se necessários estudos de maior especificidade de acordo com o tipo de aplicação a ser planejada e a composição do resíduo (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Assim, o objetivo deste trabalho é, através da classificação e análise das características da lama gerada em um guseira, estudar a possibilidade para o aproveitamento agrícola.

## 2 METODOLOGIA

Este estudo dá-se em continuidade ao trabalho desenvolvido por Oliveira *et al.* (2017), que objetivou fornecer subsídios para a utilização da lama de alto-forno como subproduto na indústria. Para tal, foi considerada a mesma amostragem de lama de alto-forno coletada em uma indústria independente de ferro gusa no Estado do Espírito Santo, que gera um residual de cerca de 618 toneladas de lama seca por mês, com uma média de 59 kg de lama por tonelada de gusa produzido. O resíduo é depositado em um pátio e doado para uma siderúrgica que realiza o recolhimento de forma esporádica, visando o aproveitamento como subproduto no processo produtivo, em pequenas taxas.

Desta forma, serviram de base a este trabalho os dados da análise via espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) levantados por Oliveira *et al.* (2017), contemplando a identificação do teor médio dos seguintes elementos: alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), berílio (Be), bismuto (Bi), cálcio (Ca), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), potássio (K), lítio (Li), magnésio (Mg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), sódio (Na), níquel (Ni), fósforo (P), chumbo (Pb), enxofre (S), antimônio (Sb), escândio (Sc), estrôncio (Sr), tório (Th), titânio (Ti), vanádio (V), ítrio (Y), zinco (Zn) e zircônio (Zr).

O enquadramento dos resíduos sólidos pode ser feito por meio de análises físico-químicas sobre o extrato solubilizado e/ou lixiviado obtido a partir da amostra bruta do resíduo (SILVA *et al.*, 2015). Diante dos dados preliminares, no intuito de realizar a classificação do resíduo sólido e analisar a possibilidade de aproveitamento agrícola, foram realizados testes de lixiviação e solubilização com a amostra de lama de alto-forno.

O teste de lixiviação é utilizado para determinar a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução do meio extrator e, portanto, seu potencial de causar impactos nos solos e águas subterrâneas. Já o ensaio de solubilização avalia o potencial dos resíduos de liberar seus componentes constituintes para a água pura, comparativamente ao padrão de potabilidade.

Os testes foram realizados em conformidade com as normas ABNT NBR 10005 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos e ABNT NBR 10006 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e análises dos parâmetros lixiviados e solubilizados, assim como preconizado pela ABNT NBR 10004 - Resíduos Sólidos: Classificação.

Em ambos os testes, foram verificados os parâmetros: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, fluoreto, mercúrio, prata e selênio, sendo que para o teste de lixiviação foram acrescentados o PH inicial e PH final (após a adição de ácido acético), e para o de solubilização foram também considerados: cobre, zinco, dureza total, sulfatos, surfactantes, sódio, manganês, ferro, cianeto, fenol, alumínio, cloreto e nitrato.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Primeiramente, no intuito de classificar a lama de alto-forno conforme a ABNT NBR (10004), foram realizados os testes de lixiviação e solubilização. A classificação do resíduo sólido é fundamental na gestão dos resíduos, para avaliar as formas de destinação frente aos possíveis impactos ambientais negativos ao meio. Em seguida, diante dos dados da análise geoquímica e dos valores orientadores para substâncias inorgânicas presentes em solo e água subterrânea, foi discutida a possibilidade de aproveitamento do resíduo em áreas agrícolas.

### 3.1 TESTE DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

A classificação do resíduo sólido é realizada conforme o enquadramento nas características apontadas no Quadro 1.

**Quadro 1.** Classificação dos resíduos sólidos

a) Resíduos classe I - Perigosos	São aqueles que apresentam inflamabilidade, ou corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou seja, são aqueles que apresentam risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio-ambiente, quando gerenciados de forma inadequada;
b) Resíduos classe II - Não perigosos	Esses resíduos subdividem-se em resíduos classe II A - Não inertes e resíduos classe II B - Inertes
b1) Resíduos classe II A - Não inertes	São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes. Esses resíduos podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
b2) Resíduos classe II B - Inertes	São aqueles resíduos que quando submetidos a um contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

FONTE: ABNT NBR (10004) *apud* Zaniboni e Schmidt (2014).

A lama de alto-forno analisada neste trabalho não apresentou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os valores encontrados para cada substância nos testes de lixiviação, bem como as concentrações máximas toleradas, são apresentados na Tabela 1. No ensaio de lixiviação o extrato não apresentou concentrações acima dos valores estabelecidos como limite na ABNT NBR 10004:2004 - Anexo F, assim, em uma primeira etapa o resíduo foi caracterizado como não perigoso - Classe II.

**Tabela 1.** Resultado do teste de lixiviação

Parâmetro	Unidade	Valor	Limites
PH inicial	-	8,20	-
PH final	-	5,21	-
Arsênio	mg/L	ND	1,0
Bário	mg/L	ND	70,0
Cádmio	mg/L	ND	0,5
Chumbo	mg/L	ND	1,0
Cromo Total	mg/L	ND	5,0
Fluoreto	mg/L	0,10	150,0
Mercúrio	mg/L	ND	0,1
Prata	mg/L	ND	5,0
Selênio	mg/L	ND	1,0

ND: Não detectado

Em seguida, por meio do ensaio de solubilização, foram encontrados sulfato (286,65 mg/L) e fenol (0,50 mg/L) acima das respectivas concentrações normatizadas de 250,00 mg/L e 0,01 mg/L na ABNT NBR 10004:2004 - Anexo G, destacados em vermelho na Tabela 2. Os demais parâmetros encontram-se dentro dos valores limites estabelecidos pela norma.

**Tabela 2.** Resultado do teste de solubilização

(Continua)

Parâmetro	Unidade	Valor	Limites
Arsênio	mg/L	ND	0,01
Bário	mg/L	ND	0,7
Cádmio	mg/L	ND	0,005
Chumbo	mg/L	ND	0,01
Cromo Total	mg/L	ND	0,05
Fluoreto	mg/L	0,10	1,5
Mercúrio	mg/L	ND	0,001
Prata	mg/L	ND	0,05
Selênio	mg/L	ND	0,01
Cobre	mg/L	ND	2,0

(Conclusão)

Parâmetro	Unidade	Valor	Limites
Zinco	mg/L	ND	5,0
Dureza Total	mg/L	265,00	-
Sulfatos	mg/L	286,65	250,00
Surfactantes	mg/L	ND	0,5
Sódio	mg/L	62,35	200,00
Manganês	mg/L	0,08	0,1
Ferro	mg/L	0,21	0,3
Cianeto	mg/L	ND	0,07
Fenol	mg/L	0,50	0,01
Alumínio	mg/L	0,17	0,2
Cloreto	mg/L	239,35	250,00
Nitrato	mg/L	ND	10,0

ND: Não detectado

Tais valores com altas concentrações permitem dar uma classificação final a lama de alto-forno estudada como um resíduo não perigoso e não inerte - Classe IIA, que pode ter características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. A mesma classificação foi encontrada na pesquisa de Almeida (2005) diante de um estudo para incorporação da lama em corpos cerâmicos.

### 3.2 ANÁLISE QUÍMICA VIA ICP-OES

A composição química da lama está diretamente relacionada com as propriedades dos insumos adotados no processo do alto-forno, mas geralmente contém elementos como ferro, carbono, cálcio, zinco, entre outros, que podem apresentar vantagens diante do reaproveitamento (DAS *et al.*, 2007).

O conhecimento das substâncias do composto é importante para o monitoramento ambiental do mesmo, além da identificação de elementos majoritários a serem estudados, de forma criteriosa, para reaproveitamento ou tratamento adequado. Segundo Das *et al.* (2007), algumas escórias e lamas de alto-forno de siderúrgicas contêm uma quantidade notável de metais pesados e a liberação deles para a terra pode causar alguns problemas ambientais.

Conforme a análise química via ICP (OLIVEIRA *et al.*, 2017), os elementos encontrados na amostra de lama, com os respectivos teores médios (mg/Kg), estão elencados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados da análise química via ICP

Elementos	Teor médio (mg/Kg)	Elementos	Teor médio (mg/Kg)	Elementos	Teor médio (mg/Kg)
Al	17153	Li	3	Sc	1
Ba	226	Mg	1948	Sr	100
Bi	35	Mn	1196	Th	3
Ca	14755	Na	266	Ti	1009
Co	6	Ni	14	V	56
Cr	112	P	671	Y	6
Cu	67	Pb	463	Zn	1201
Fe	317326	S	626	Zr	25
K	2167				

FONTE: Oliveira *et al.* (2017).

Quanto aos valores máximos das substâncias permitidas nas amostras de solo e água subterrânea em contato com o resíduo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2014) apresenta valores orientadores para solos e águas subterrâneas, conforme o Quadro 2.

Para a lama de alto-forno, supondo uma análise do resíduo em seu estado natural (antes mesmo de uma possível mistura com o solo), aquelas substâncias inorgânicas descritas pela CETESB e encontradas no resultado da análise química via ICP se encontram abaixo dos valores de intervenção (VI). Deste modo, confirmado pelo teste de lixiviação e solubilização apresentados anteriormente, há um enquadramento dos parâmetros quanto ao limite máximo permitido para as substâncias contidas em solo industrial para que não seja necessária intervenção e a área não seja considerada contaminada.

Contudo, elementos como bário, cromo, chumbo e zinco encontram-se acima do valor referência qualidade (VRQ) e valor de prevenção (VP), requerendo monitoramentos constantes para que futuras intervenções na área não sejam necessárias.

**Quadro 2.** Valores orientadores para solo e água subterrânea no Estado de São Paulo

Substância	CAS Nº	Solo		(mg kg <sup>-1</sup> peso seco)			Águas subterrâneas (µg L <sup>-1</sup> )
		Valor de referência qualidade	Valor de prevenção	Valor de intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
<b>INORGÂNICOS</b>							
Antimônio <sup>(1)</sup>	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio <sup>(1)</sup>	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto <sup>(1)</sup>	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre <sup>(2)</sup>	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 <sup>(a)</sup>	2000
Crômio total <sup>(1)</sup>	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercurio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel <sup>(2)</sup>	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata <sup>(1)</sup>	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 <sup>(a)</sup>	1800

(1): Mantidos os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009.

(2): Mantidos os valores de prevenção da Resolução CONAMA 420/2009.

FONTE: Adaptado de CETESB (2014).

Em se tratando da utilização da lama na agricultura, os resultados apontam que dificilmente tal material poderia ser utilizado, visto os altos teores encontrados para alguns metais pesados. O chumbo que, segundo Silva (2007), é utilizado em quantidade máxima de 275 mg/kg foi identificado na lama de alto forno no teor médio de 463 mg/kg. Já o cromo, utilizado com um máximo de 9,7 mg/kg, apresentou na caracterização valor médio de 112 mg/kg (SILVA, 2007).

Para a incorporação da lama de alto-forno ser viável, teria que ocorrer em quantidade muito pequena a ser misturada com o solo, o que demonstra significativas restrições devido à pouca taxa de resíduo a ser reaproveitado.

#### 4 CONCLUSÕES

O resíduo estudado apresentou características que dificultam o aproveitamento em diversas áreas, como é o caso da agricultura, onde a inviabilidade se dá principalmente devido à presença de chumbo e cromo, em teores de massa maiores até que os utilizados em fertilizantes, o que ocasiona uma grande restrição no quantitativo de lama a ser incorporado em áreas agrícolas.

Neste contexto, acentua-se a necessidade de um gerenciamento adequado, referente à armazenagem, disposição, monitoramento e o fortalecimento da utilização do resíduo em outros setores, como já vem sendo feito em cerâmicas vermelhas ou na própria siderurgia. Uma outra frente de pesquisa é a extração dos metais pesados da lama, viabilizando novas possibilidades de reutilização ou reciclagem, em áreas carentes por insumos de mesma natureza.

Esta pesquisa buscou fornecer uma análise preliminar voltada à classificação da lama de alto-forno e a possibilidade de reaproveitamento agrícola, contudo, novos estudos e análises de campo, com diferentes fontes de resíduos, são fundamentais para os critérios de decisão quanto à gestão dos resíduos gerados nos processos produtivos das guseiras.

Ressalta-se a necessidade de que os esforços sejam sempre prioritariamente voltados para a prevenção da poluição buscando minimizar resíduos. A partir do momento em que a geração é inevitável, transformar o resíduo em subproduto com ganhos para a indústria e o meio ambiente é um grande passo para um desenvolvimento mais responsável e sustentável.

#### REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10004. ABNT NBR 10005. ABNT NBR 10006. ABNT NBR 10007. **Resíduos sólidos - Coletânea de Normas**. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, M. L. B.; MELO, G. C. B. Alternativas de usos e aplicações dos resíduos sólidos das indústrias independentes de produção de ferro-gusa do estado de Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. SANEAMENTO AMBIENTAL: DESAFIO PARA O SÉCULO 21, 21.*, João Pessoa (PB). *Anais [...]*. Rio de Janeiro, 2001.

ALMEIDA, M. M. **Avaliação da incorporação de lama do sistema de lavagem de gases de altos-fornos de usinas siderúrgicas integradas a coque em tijolos de cerâmica vermelha.** 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, MG.

BRASIL. Lei nº 12.305 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União.** Brasília, 02 de agosto de 2010.

BRASIL. MME - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Anuário estatístico: setor Metalúrgico.** Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2015.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo.** Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>. Acesso em: 01 jun. 2017.

CHIROLI, D. M.; VOLANTE, E. J.; TRIERWEILLER, A. C.; CAMPOS, L. M. S. Avaliação da gestão ambiental: uma pesquisa em empresas de construção civil na cidade de Maringá - PR, Brasil. **Interciência.** v. 40, n. 1, p. 8-15, 2015.

DAS, B.; PRAKASH, S.; REDDY, P. S. R.; MISRA, V. N. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. **Resources, Conservation and Recycling.** v. 50, p. 40-57, 2007.

DROBIKOVA, K.; PLACHA, D.; MOTYKA, O.; GABOR, R.; MAMULOVA KUTLAKOVA, K.; VALLOVA, S. Recycling of blast furnace sludge by briquetting with starch binder: waste gas from thermal treatment utilisable as a fuel. **Waste Management,** v. 48, p. 471-477, 2016.

JACOMINO, V. F.; BATISTA, A. M.; RIBEIRO, E. D. R.; LOPES, L. E. F.; CASTRO, L. F. A.; BATISTA, W. C. Ensino e Desenvolvimento Tecnológico para Controle Ambiental na Indústria, Pesquisa Tecnológica para Controle Ambiental em Unidades Independentes de Produção de Ferro-Gusa de Minas Gerais. **Volume II - Estado da Arte**. Relatório Técnico, Belo Horizonte, 2000. 140p.

LOBATO, N. C. C.; VILLEGAS, E. A.; MANSUR, M. B. Avaliação de alternativas tecnológicas para o gerenciamento dos resíduos sólidos siderúrgicos: escória e lamas de alto-forno. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA & VIII MEETING OF THE SOUTHERN HEMISPHERE ON MINERAL TECHNOLOGY, 25., Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia, 2013. p. 267-274.

MORAES, C. A. M.; KIELING, A. G.; CALHEIRO, D.; PIRES, D. C.; SILVEIRA, C. F. B.; GARCIA, A. C. A.; BREHM, F. A. Elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos de empresas de fundição de ferro fundido de pequeno porte. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração (Impresso)**. v. 10, p. 296-302, 2013.

MOTHÉ, A. V. **Utilização da lama de alto-forno em cerâmica vermelha**. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) -Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

OLIVEIRA, F. R.; SILVEIRA, C. S.; ASSIS, P. S. Análise da Lama de Alto-Forno como Insumo em Siderúrgicas e Cerâmicas. **Revista eletrônica de materiais e processos (UFCG)**. v. 12, p. 21-25, 2017.

SILVA, C. S. W. **Avaliação ambiental decorrente do uso agrícola de resíduos do sistema de limpeza de gases de uma indústria siderúrgica a carvão vegetal**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, A. S.; RIBEIRO, L. S.; PAIVA, W.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. Avaliação do potencial tóxico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande - PB. **Matéria**, v. 20, n. 4, p. 1517-7076, 2015.

TRINKEL, V.; MALLOW, O.; ASCHENBRENNER, P.; RECHBERGER, H.; FELLNER, J. Characterization of blast furnace sludge with respect to heavy metal distribution. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 55, p. 5590-5597, 2016.

VIEIRA, C. M. F.; DIAS, C. A. C. M.; VASCONCELOS, A. M.; SÁNCHEZ, R. J.; MONTEIRO, S. N. Incorporação de Lama de Alto-Forno em Cerâmica Vermelha. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 51., Salvador. **Anais [...]**. São Paulo: Tecart, 2007. v. 1. p. 1-12.

ZACCARON, A.; NANDI, V. S.; SILVA, D. B.; COMIN, A. B. Estudo da Utilização do Resíduo Proveniente do Beneficiamento do Carvão Mineral como Matéria-Prima Alternativa na Fabricação de Blocos de Vedação. **Cerâmica Industrial**, v. 20, n. 2, p. 38-44, 2015.

ZANIBONI, P. H.; SCHMIDT, C. A. P. Gestão de resíduos sólidos gerados em uma indústria sucro-alcooleira visando seu correto armazenamento e destinação final. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 195-210, 2014.

*Recebido em: 15/11/2016*

*Aceito em: 20/03/2019*

## CRESCIMENTO E PROTEÍNA BRUTA DE FORRAGEM HIDROPÔNICA DE MILHO FERTILIZADO COM URINA HUMANA E MANIPUEIRA

Narcísio Cabral de Araújo<sup>1</sup>

Mônica de Amorim Coura<sup>2</sup>

Rui de Oliveira<sup>3</sup>

Celeide Maria Belmont Sabino Meira<sup>4</sup>

Andréa Carla Lima Rodrigues<sup>5</sup>

**RESUMO:** A forragem verde hidropônica é uma alternativa prática e econômica para o produtor, possibilitando a obtenção de forragem de grande valor proteico e energético, servindo como suplementação alimentar para o rebanho. Esta pesquisa foi conduzida no período entre os meses de março a abril de 2013 e objetivou analisar o crescimento e proteína bruta em forragem verde hidropônica de milho fertilizado com soluções nutritivas compostas por diferentes concentrações de urina humana associada à manipueira. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, sendo adotado delineamento experimental em blocos ao acaso, composto por seis tratamentos e quatro blocos. Foram avaliadas a altura da forragem, cinzas e proteína bruta, em função dos tratamentos. Dos resultados obtidos, foi possível concluir que a urina humana associada à manipueira mostrou-se eficaz na fertilização da forragem hidropônica de milho cultivado em sistema hidropônico com substrato de bagaço de cana-de-açúcar; quanto maior a concentração de urina humana associada à manipueira maior será a altura e os teores de cinza e proteína bruta na forragem e que a solução contendo 5% de urina humana adicionada de manipueira até pH 6,4 é a mais indicada para o cultivo da forragem verde hidropônica de milho.

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, na área de irrigação e drenagem, pela UFCG. Professor Adjunto do Centro de Formação em Tecnociências e Inovação - CFTCI da Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB, Brasil. E-mail: narcisioaraujo@ufsb.edu.br

<sup>2</sup> Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora titular da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Brasil.

<sup>3</sup> Professor Doutor D do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Brasil.

<sup>4</sup> Doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora/orientadora credenciada da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG e professora Associado A da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Brasil.

<sup>5</sup> Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Professora na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG na Unidade Acadêmica de Engenharia Civil - UAEC na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, Brasil.