



APLICAÇÃO DE UMA FRAÇÃO DO RESÍDUO DO SHREDDER NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS

Juliana Dias de Castro Figueiredo – julianadcf@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGE3M – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
Av Bento Gonçalves, 9500- Centro de Tecnologia- CP 15021- Porto Alegre- RS

Prof. Dra. Rejane Maria Candiota Tubino – rejane.tubino@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGE3M – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais

Resumo: O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de uma fração menor que 2mm do resíduo do shredder proveniente de uma indústria siderúrgica ao processo de fabricação de tijolos estruturais de uma fábrica de cerâmica vermelha. As variáveis analisadas foram: propriedades de resistência à compressão, absorção de água e quanto às questões ambientais pela análise de lixiviação e solubilização segundo a NBR 10.004/2004. Foi realizado processamento do resíduo do shredder em uma fração menor que 2mm e realizada a incorporação de uma dosagem de 10% e 20% deste material no processo industrial de uma cerâmica de produção de blocos estruturais. Foram avaliadas as propriedades de qualidade e quanto às questões ambientais. Analisando os resultados constatou-se que tanto o bloco cerâmico padrão quanto aos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo atendem os limites normativos para resistência à compressão e para absorção de água. Quanto às análises de lixiviado e solubilizado, concluiu-se que tanto o tijolo padrão quanto ao protótipo contendo 20% de resíduo são classificados como Classe II A- não inerte. É possível afirmar que a fração menor que 2mm do resíduo do shredder pode ser utilizada junto à argila como matéria prima para fabricação de blocos cerâmicos estruturais.

PALAVRAS- CHAVE: Resíduo do shredder, cerâmica, resistência à compressão, absorção de água.

APPLICATION OF A FRACTION SHREDDER RESIDUE IN BRICKS MANUFACTURING

Abstract: The goal of this work is to evaluate the incorporation of a fraction smaller than 2 mm of the Shredder Residue from a steel industry into a manufacturing process of structural bricks in a red ceramic factory. Evaluate the quality of results as the compressive strength properties, water absorption and environmental issues as leaching and solubilization analysis according NBR 10,004. The Shredder Residue in a fraction smaller than 2mm was incorporated in dosages of 10% and 20% with the clay in the industrial process of a ceramic. The quality properties and the environmental issues were analyzed and the results was that both brick pattern block and the prototypes containing 10% and 20% residue meet regulatory limits for compressive strength and water absorption . The analysis of leached and solubilized concluded that both the brick pattern and the prototype containing 20% of waste are classified as Class II A. It is possible to say that the fraction smaller than 2mm of



Automotive Shredder Residue can be used with the clay as raw material for the manufacture of structural ceramic blocks.

KEYWORDS: *Shredder Residue, ceramic, compressive strength properties, water absorption*

1 INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é uma atividade intensiva no uso de energia, água e materiais. Gera por tonelada de aço 700 quilos de resíduos sólidos. Caso eles não fossem reaproveitados, a produção de aço, por razões econômicas e ambientais, provavelmente ficaria inviabilizada. O gerenciamento e processamento adequados dos resíduos sólidos possibilitam o seu ingresso na cadeia produtiva como materiais alternativos com valor econômico importante. É justamente esta possibilidade que permite classificar os resíduos sólidos como coprodutos da fabricação do aço (ABM, 2008).

Alguns coprodutos como, por exemplo, a escória de aço carbono e a carepa de ferro, possuem viabilidade técnica e econômica para reciclagem. Entretanto o resíduo gerado no processo de trituração de sucata, o resíduo do shredder, também conhecido como fluff, ainda não possui alternativa de reciclagem viável, sendo atualmente, nas usinas siderúrgicas do Brasil, enviado para aterro. Este trabalho pretende apontar uma alternativa para a reciclagem deste resíduo, fazendo com que a empresa geradora tenha custos mais competitivos e maiores benefícios ambientais.

A reutilização de resíduos industriais como alternativa para substituição de matéria prima pode favorecer algumas condições de processo e até mesmo melhorar a qualidade final do produto, além de reduzir custos de produção e dar um destino ecologicamente correto a esses resíduos. Dentro da grande área da cerâmica, a cerâmica vermelha é a área que consegue absorver as maiores quantidades de resíduos provenientes de diversos setores industriais.

O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de uma fração menor que 2mm do resíduo do shredder proveniente de uma indústria siderúrgica ao processo de fabricação de tijolos estruturais de uma fábrica de cerâmica vermelha, avaliar os resultados de qualidade quanto às propriedades de resistência à compressão, absorção de água e quanto as questões ambientais pela análise de lixiviação e solubilização segundo a NBR 10.004.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GERAÇÃO DO RESÍDUO DO SHREDDER

O processo de uma usina mini-mill consiste nas seguintes etapas: obtenção de matérias primas (sucata e ferro-gusa), fundição (forno elétrico), lingotamento e laminação. Alguns equipamentos podem ser agregados para melhorar a eficiência nas aciarias. Nas usinas semi-integradas destacam-se os trituradores de sucatas (FERREIRA, 2012). O triturador de sucata, ou shredder, tem a função de triturar a sucata e separar a fração metálica ferrosa. Na maioria dos países, a principal fonte de sucata é o automóvel obsoleto, porém o processo também é alimentado por outras fontes como aparelhos de ar condicionado, fogões, geladeiras entre outros. A máquina trituradora realiza a entrega da sucata fragmentada com elevada pureza, minimiza a geração de resíduo nas etapas posteriores do processo, além de obter sucatas não ferrosas passíveis de venda como o alumínio (CIUCCIO, 2004).

O sistema do triturador Shredder é constituído de um alimentador, triturador, área de transferência, transferência por separador magnético, catação, pesagem, empilhamento, retirada de poeira, sistema de injeção eletrônica de água, separação de não ferrosos, sistemas hidráulicos e tubulações em geral. O triturador de sucatas Shredder é sem dúvida o principal equipamento para o processamento da sucata ferrosa para alta produção, sendo largamente utilizado por usinas

siderúrgicas e pelos preparadores de sucata. O Shredder fragmenta e limpa a sucata que será utilizada no processo de produção do aço (JUNIOR, 2013).

Após o processamento da sucata no triturador shredder, a sucata limpa alimenta os fornos da aciaria e o resíduo do shredder é atualmente disposto em aterro industrial. Além da sucata ferrosa e do resíduo, o triturador do shredder também separa a sucata não ferrosa (alumínio, zinco, cobre, latão etc), fração esta que pode ser comercializada. O restante de resíduo gerado neste processo, o resíduo do shredder, é heterogêneo, contém plásticos, papel, tecidos, vidro, terra, areia, materiais ferrosos e não ferrosos.

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS NA CERÂMICA VERMELHA

A indústria de cerâmica vermelha é muito importante do ponto de vista ambiental, pois possibilita o reaproveitamento de resíduos sólidos de outras indústrias, incorporando-os na massa cerâmica. Este aproveitamento traz alguns benefícios para a indústria de cerâmica vermelha como redução do custo e da quantidade de matéria-prima utilizada, redução do consumo de combustível, além de evitar que estes resíduos tenham destinação ambientalmente incorreta. Nas indústrias cerâmicas do Estado de Minas Gerais, por exemplo, é comum utilizar na incorporação da massa os resíduos de pó de balão e lama de alto-forno. A proporção de resíduo varia de 5 a 10%, conforme critérios adotados pelos ceramistas (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

A Figura 1 apresenta a sequência de fabricação da cerâmica vermelha.

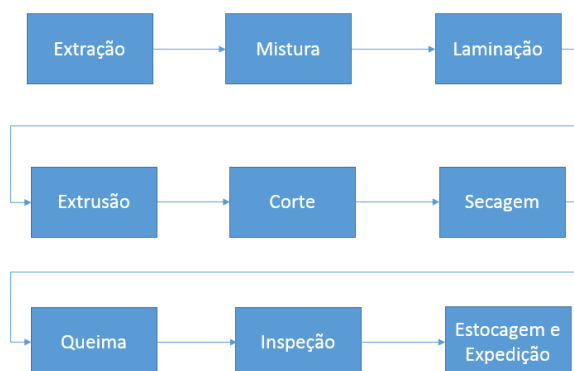


Figura 1: Fluxograma do processo da cerâmica.

Fonte: O autor

2.2.1 Extração da Matéria Prima

Grande parte das argilas utilizadas na indústria cerâmica é natural, sendo encontradas em depósitos dispersos pela crosta terrestre. São extraídas geralmente em várzeas de rios e lagos localizados próximos às indústrias.

2.2.2 Mistura

A preparação da massa consiste na mistura dos diversos tipos de argila, água e resíduos, quando aplicáveis. A produção de uma boa massa cerâmica é um passo essencial para obtenção de um produto de alta qualidade, redução de perdas e conseqüentemente melhoria do desempenho ambiental do processo (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).



2.2.3 Laminação

O laminador é o equipamento responsável por esta etapa, que consiste no direcionamento de partículas das argilas, sendo fundamental sua regulagem periódica. É recomendado um distanciamento de 2 a 3 mm para o último laminador. A qualidade da laminação determina a qualidade do acabamento dos produtos, evita perdas e pode levar a uma redução no consumo de energia na queima (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

2.2.4 Extrusão

A extrusão consiste em forçar, por pressão, a massa a passar através de um bocal apropriado ao tipo de peça a ser produzida. A extrusora, também conhecida como maromba, recebe a massa preparada para ser compactada e forçada por meio de um pistão ou eixo helicoidal através de bocal (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

2.2.5 Corte

Pode ser realizado com cortadores manuais ou automáticos, sendo usado para dar a dimensão desejada ao produto. Depois de cortadas, por inspeção visual, as peças são selecionadas e encaminhadas para o setor de secagem. Já as peças defeituosas são reintroduzidas na etapa de preparação de massa (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

2.2.6 Secagem

O processamento térmico, que compreende as etapas de secagem e queima, é de crucial importância para a obtenção de um produto cerâmico, pois dele depende o correto desenvolvimento de suas propriedades finais. Para evitar o aparecimento de tensões e futuros defeitos, faz-se necessário eliminá-la, de forma lenta e gradual, com a exposição ao calor e a ambientes ventilados, com controle da taxa de aquecimento, ventilação e umidade relativa do ar. Isto pode ser feito em secadores intermitentes ou contínuos, com temperaturas variando entre 50°C e 150°C (VIEIRA, 2009).

2.2.7 Queima

Nessa operação as peças adquirem suas propriedades finais. Esse tratamento térmico é responsável por uma série de transformações físico-químicas das peças como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem (sinterização) dos grãos (ANICER, 2008). Os produtos são submetidos a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800° C a 1.000°C (Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, 2013).

2.2.8 Inspeção, estocagem e expedição

Após a queima o produto final é inspecionado e são coletadas amostras do lote para envio para análises de qualidade em laboratório especializado.

O material é encaminhado para área de estoque e onde posteriormente será expedido para o cliente.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DA AMOSTRA

A Figura 2 apresenta o fluxograma do processo onde o resíduo é gerado o resíduo do shredder. O foco deste trabalho é o material do Funil (porém em uma fração menor que 2mm), pois é a fração mais fina do resíduo, ou seja, mais fácil de ser incorporada ao processo industrial das cerâmicas.

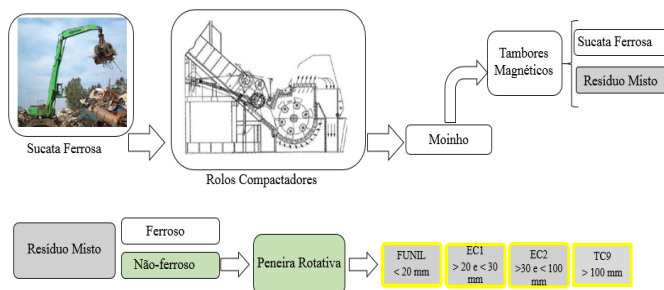


Figura 2: Fluxograma do processo de geração do resíduo
Fonte: Relatório UCS, Caracterização do Resíduo do shredder, 2016.

As amostras do resíduo utilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho foram coletadas no Funil (Figura 2) durante cinco noites de operação. As amostras foram acondicionadas em sacos (bags) com capacidade de até 600 kg. A amostragem, bem como o quarteamento, foram realizadas conforme a NBR 10007 (ABNT, 2004).

Foram encaminhados 3 bags de 400kg cada para o laboratório LAPROM (laboratório de processamento mineral) da UFRGS para preparação da fração menor que 2 mm, a peneira utilizada foi da marca Produtest, 5A, 60 ciclos, 1/2 HP. A Figura 3 ilustra a fração menor que 2mm.



Figura 3: Fração menor que 2mm do resíduo

Fonte: O autor

Foi obtido 1 tonelada de amostra menor que 2mm. Este material foi encaminhado à indústria cerâmica a fim da realização de um teste industrial. Incorporou-se 1 tonelada da amostra na massa cerâmica, com uma dosagem de 20% em relação à argila.

Foi conduzido um segundo teste industrial com uma quantidade maior de resíduo e com o objetivo de se ter uma outra dosagem de resíduo na massa cerâmica. Para este segundo teste a amostra foi de 20 toneladas de material do funil, esta massa foi encaminhada para processamento em uma peneira industrial da Marca Manufios, quadro (4000 X 1570 MM), tipo TP-3,18 cantoneira 1.1/2'' X 1/8''. Após o processamento foi obtida uma amostra de 16 toneladas com granulometria menor que 2mm, da mesma forma, este material foi encaminhado à fabrica cerâmica para a realização de um segundo teste, onde incorporou-se 16 toneladas da amostra na massa cerâmica, com uma dosagem de 10% em relação à argila.

3.2 PRODUÇÃO DOS PROTÓTIPOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA

A primeira amostra de resíduo, de 1 tonelada, foi homogeneizada com a argila em uma proporção de 20% para realização do primeiro teste e produção dos primeiros protótipos. Um segundo teste foi conduzido com a segunda amostra de resíduo, de 16 toneladas, adicionando-se uma proporção de 10% do resíduo em relação à argila. O processo industrial da produção cerâmica está descrito no item 2.2 deste trabalho. A Figura 4 apresenta o protótipo com 20% de resíduo.

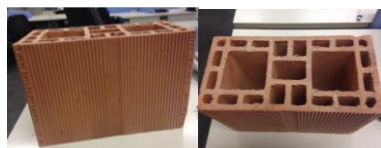


Figura 4: Protótipo com 20% de resíduo
Fonte: O autor

3.3 ANÁLISE DOS PROTÓTIPOS

Após a produção dos protótipos na cerâmica, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC, na Universidade Federal de Santa Maria para a realização do teste comparativo entre o tijolo padrão e os protótipos propostos. Nesse laboratório foram realizados os ensaios para determinação da resistência à compressão e do índice de absorção de água. A metodologia do ensaio foi realizada conforme a NBR 15270 (ABNT, 2005).

Também foram encaminhadas amostras para o laboratório Bioagri - Mérieux NutriSciences Company em Canoas para realização da análise de classificação segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).

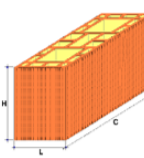
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADO DE ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em uma amostragem de blocos cerâmicos estruturais contendo treze corpos de prova.

Os resultados das determinações de Resistência à Compressão, individual, média e característica (f_{bk}), para o protótipo contendo 20% do resíduo são apresentados na Tabela 01.

Tabela 01: Determinação da resistência à compressão do protótipo contendo 20% de resíduo

Exemplar	Tipologia do Bloco	Área Bruta Média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (Mpa)		
				Individual	Média (f_{bm})	$f_{bk,est}$ Adotada ¹
3268		40.740	315.000	7,7	9,6	8,0
3269		40.740	410.000	10,1		
3270		40.880	420.000	10,3		
3271		40.449	400.000	9,9		
3272		40.449	420.000	10,4		
3273		40.740	390.000	9,6		
3274		40.740	395.000	9,7		
3275		40.740	330.000	8,1		
3276		40.880	390.000	9,5		
3277		40.880	385.000	9,4		
3278		40.880	420.000	10,3		
3279		40.880	415.000	10,2		
3280		40.449	405.000	10		

Para a amostra de blocos cerâmicos estruturais, deve-se tomar como referência o valor mínimo de 7,0 MPa para a resistência à compressão característica (f_{bk}). A amostra ensaiada apresentou $f_{bk} = 8,0$ MPa, atendendo assim às especificações para blocos cerâmicos estruturais.

Os resultados das determinações de resistência à compressão, individual, média e característica, para o protótipo contendo 10% de resíduo, são apresentados na Tabela 02.

Tabela 02: Determinação da resistência à compressão o protótipo contendo 10% de resíduo

Exemplar	Tipologia do Bloco	Área Bruta Média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (Mpa)		
				Individual	Média (f_{bm})	$f_{bk,est}$ Adotada ¹
7016		41.031	405.000	9,9	10,3	8,9
7017		41.031	380.000	9,3		
7018		41.031	495.000	12,1		
7019		40.880	420.000	10,3		
7020		41.172	465.000	11,3		
7021		41.031	495.000	12,1		
7022		41.031	420.000	10,2		
7023		40.449	435.000	10,8		
7024		41.172	390.000	9,5		
7025		41.172	425.000	10,3		
7026		41.172	395.000	9,6		
7027		40.740	365.000	9		
7028		41.031	375.000	9,1		

A amostra ensaiada apresentou $f_{bk} = 8,9$ MPa, superior ao requisito de resistência à compressão estipulada pelo fabricante ($f_{bk, esp} = 7,0$ MPa).

Os resultados das determinações de resistência à compressão, individual, média e característica, para amostra de blocos cerâmicos padrão, são apresentados na Tabela 03.

Tabela 03: Determinação da resistência à compressão amostra de blocos cerâmicos padrão

Exemplar	Tipologia do Bloco	Área Bruta Média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (Mpa)		
				Individual	Média (f_{bm})	$f_{bk,est}$ Adotada ¹
3287		40.740	385.000	9,5	9,3	8,4
3288		40.449	420.000	10,4		
3289		40.600	375.000	9,2		
3290		40.449	325.000	8		
3291		40.740	360.000	8,8		
3292		40.740	445.000	10,9		
3293		40.449	355.000	8,8		
3294		40.449	370.000	9,1		
3295		40.449	365.000	9,0		
3296		40.449	390.000	9,6		
3297		40.449	395.000	9,8		
3298		40.449	365.000	9		
3299		40.740	370.000	9,1		

A amostra ensaiada apresentou $f_{bk} = 8,4$ MPa, assim atendendo às especificações para blocos cerâmicos estruturais.

A Figura 5 apresenta o gráfico de comparação entre as resistências à compressão característica (f_{bk}) dos blocos padrão com os protótipos contendo 10% e 20% de resíduo.

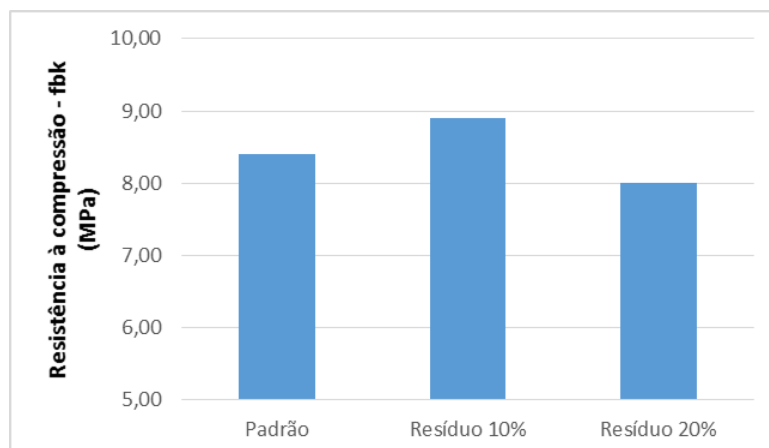


Figura 5: Comparação entre as resistências à compressão

Analisando os resultados percebe-se que todas as amostras atendem o limite mínimo para resistência à compressão característica (7,0 MPa), porém o protótipo contendo 10% de resíduo apresentou o melhor resultado.

4.2 RESULTADO ANÁLISE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os ensaios para determinação do índice de absorção de água foram realizados em uma amostragem de blocos cerâmicos estruturais contendo seis corpos de prova. A Tabela 04 apresenta os resultados das análises de determinação de absorção de água para o protótipo contendo 20% de resíduo. A Equação 01 apresenta a equação utilizada para determinação do índice de absorção de água.

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$$

Equação 01

Tabela 04: Determinação do índice de absorção de água protótipo contendo 20% de resíduo

Exemplar	Massas da amostra (g)		Índice de absorção d'água - AA(%)
	Saturada (m_u)	Seca (m_s)	
3262	6.699	5.926	13,0
3263	6.658	5.900	12,8
3264	6.715	5.931	13,2
3265	6.693	5.919	13,1
3266	6.713	5.937	13,1
3267	6.732	5.950	13,1
Médias determinadas		5.927	13,1

Para os blocos cerâmicos, a NBR 15270:2005 especifica que o índice de absorção de água, em qualquer um dos blocos ensaiados, deve ter valor entre 8,0% e 22,0%. A amostra apresentou um índice mínimo de 12,8% e média de 13,1%, estando assim em conformidade com os requisitos normativos.

A Tabela 05 apresenta os resultados das análises de determinação de absorção de água para o protótipo contendo 10% de resíduo.

Tabela 05: Determinação do índice de absorção de água protótipo contendo 10% de resíduo

Exemplar	Massas da amostra (g)		Índice de absorção d'água - AA(%)
	Saturada (m_u)	Seca (m_s)	
7010	7.133	6.291	13,4
7011	7.130	6.304	13,1
7012	7.138	6.295	13,4
7013	7.173	6.307	13,7
7014	7.161	6.336	13,0
7015	7.134	6.305	13,1
Médias determinadas		6.306	13,3

A amostra apresentou um índice mínimo de 13,0% e, média de 13,3%, na absorção de água, estando em conformidade com os requisitos normativos.

A Tabela 06 apresenta os resultados das análises de determinação de absorção de água para amostra de blocos cerâmicos padrão.

Tabela 06: Determinação do índice de absorção para amostra de blocos cerâmicos padrão

Exemplar	Massas da amostra (g)		Índice de absorção d'água - AA(%)
	Saturada (m_u)	Seca (m_s)	
3281	6.600	5.856	12,7
3282	6.671	5.929	12,7
3283	6.723	5.933	13,3
3284	6.726	5.939	13,3
3285	6.691	5.939	12,7
3286	6.695	5.929	12,9
Médias determinadas		5.921	12,9

A amostra apresentou um índice mínimo de 12,7% e, média de 12,9% na absorção de água, estando, conforme parâmetros de aceitação da NBR 15270:2005.

A Figura 6 apresenta o gráfico de comparação para absorção de água dos blocos padrão com os protótipos contendo 10% e 20% de resíduo.

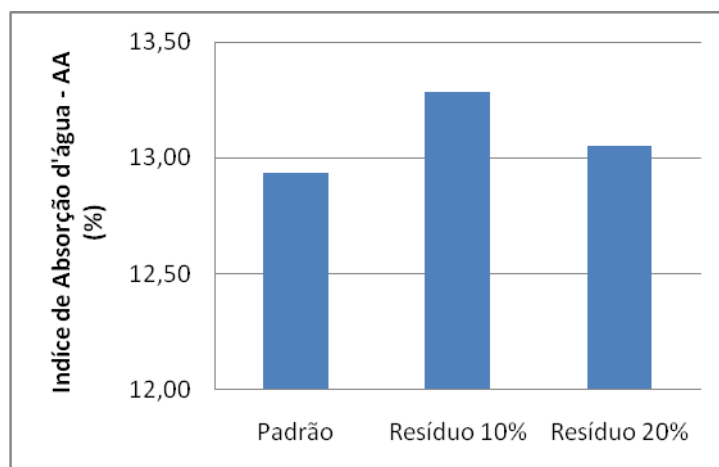


Figura 6: Comparação para absorção de água



Analisando os resultados percebe-se que todas as amostras atendem as especificações para absorção de água (entre 8% e 22%).

4.3 RESULTADO CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO NBR 10004:2004

Um resíduo é classificado como Classe I (Perigoso) quando um ou mais parâmetros do lixiviado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos NBR 10004. Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da massa bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pela NBR 10004:2004.

A amostra padrão e o protótipo contendo 20% do resíduo foram enviados para análise de classificação de resíduo conforme a NBR 10.004:2004.

A Tabela 07 apresenta os resultados de lixiviação e a Tabela 08 apresenta os resultados de solubilização da amostra de bloco padrão. Sendo que LQ é o Limite de Quantificação da Amostra e VMP é o Valor máximo permitido pela Norma ABNT NBR 10004:2004.

Tabela 07: Análise de lixiviação para amostra padrão

Extrato Lixiviado (NBR 10005)				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,158	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,232	1,0
Cromo	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	<0,1	150,0
Mercúrio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,1
Prata	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	1,0
Tempo de Lixiviação	horas	-	18	16-20
Solução de Extração	-	-	1	-
pH Final do Lixiviado	-	-	5,4	-

Tabela 08: Análise de solubilização para amostra padrão

Extrato Solubilizado (NBR 10006)				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Fluoreto	mg/L	0,1	5,63	1,5
Alumínio	mg/L	0,01	0,115	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Bário	mg/L	0,01	0,0201	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	0,00166	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/L	0,5	<0,5	250
Cvobre	mg/L	0,005	<0,005	2
Cromo	mg/L	0,1	<0,01	0,05
Ferro	mg/L	0,1	0,0228	0,3
Índice de Fenóis	mg/L	0,1	<0,01	0,01
Manganês	mg/L	0,1	<0,01	0,1
Mercúrio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	<0,1	10
Prata	mg/L	0,01	<0,01	0,05
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	7,2	200
Sulfato	mg/L	5	21,3	250
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,1	0,11	0,5
Zinco	mg/L	0,01	<0,01	5
pH Final do Solubilizado	-	-	6,5	-

Para os resultados de lixiviado, comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004, pode-se afirmar que os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Referente a análise do solubilizado, constata-se que o parâmetro fluoreto ultrapassa o limite permitido. Em função dos resultados obtidos, amostra é classificada como Classe II A – Resíduo Não Inerte.

A Tabela 09 apresenta os resultados de lixiviação e a Tabela 10 os de solubilização para o protótipo contendo 20% de resíduo.

Tabela 09: Análise de lixiviação para amostra de tijolo contendo 20% de resíduo

Extrato Lixiviado (NBR 10005)				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,517	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,0351	1,0
Cromo	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	<0,1	150,0
Mercúrio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,1
Prata	mg/L	0,01	<0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	1,0
Tempo de Lixiviação	horas	-	18	16-20
Solução de Extração	-	-	1	-
pH Final do Lixiviado	-	-	6,4	-

Tabela 10: Análise de solubilização para amostra de tijolo contendo 20% de resíduo

Extrato Solubilizado (NBR 10006)				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Fluoreto	mg/L	0,1	3,12	1,5
Alumínio	mg/L	0,01	0,117	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	0,0801	0,01
Bário	mg/L	0,01	0,0181	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/L	0,5	0,55	250
Cvobre	mg/L	0,005	<0,005	2
Cromo	mg/L	0,1	0,0192	0,05
Ferro	mg/L	0,1	0,0602	0,3
índice de Fenóis	mg/L	0,1	<0,01	0,01
Manganês	mg/L	0,1	<0,01	0,1
Merúrio	mg/L	0,000075	<0,00008	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	<0,1	10
Prata	mg/L	0,01	<0,01	0,05
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	8,24	200
Sulfato	mg/L	5	61,4	250
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,1	0,18	0,5
Zinco	mg/L	0,01	<0,01	5
pH Final do Solubilizado	-	-	7,6	-

Para os resultados de lixiviado, comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004, os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Pela análise do solubilizado, constata-se que os parâmetros arsênio e fluoreto ultrapassam os limites permitidos. Em função dos resultados obtidos, amostra é classificada como Classe II A – Resíduo Não Inerte. Entende-se que, se o resultado deste ensaio atende para incorporação de 20% de resíduo, irá atender também para a incorporação de 10%.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos testes realizados, constata-se que a fração menor que 2mm do resíduo do shredder pode ser utilizada junto à argila como matéria prima para fabricação de blocos cerâmicos estruturais.

Nos ensaios realizados tanto o bloco de tijolo padrão quanto aos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo atendem o limite mínimo de resistência à compressão característica (7,0 MPa), o protótipo contendo 10% de resíduo apresentou o melhor resultado para este parâmetro.

Percebe-se que para todos os ensaios realizados para absorção de água, as amostras dos tijolos padrão e dos protótipos contendo 10% e 20% de resíduo atendem as especificações normativas (entre 8% e 22%).

Quanto as análises de lixiviado e solubilizado, conclui-se que tanto o tijolo padrão quanto ao protótipo contendo 20% de resíduo são classificados como Classe II A – não inerte, ou seja, ambos não são classificados como Classe I – perigoso.

Fica claro que se a fração menor que 2mm do resíduo do shredder for utilizada como matéria prima para indústria cerâmica o material deixará de ser enviado para aterro e haverá a possibilidade de consumir menos argila das jazidas (recurso natural). Além disto, a indústria siderúrgica e a cerâmica teriam possibilidade de redução de seus custos, a primeira pois estaria deixando de pagar para aterrar o material, e a segunda pois evitaria os custos operacionais de retirada de argila das jazidas, desta forma, seria uma oportunidade de tornar ambas as empresas mais competitivas e sustentáveis. Como sugestão



para trabalhos futuros, pode-se estender este estudo para frações de resíduo do shredder diferentes de 2mm e além disto, realizar testes com outros percentuais de resíduo em relação à argila.

5 REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 10004 - Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT NBR 15.270 - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT NBR 15.270 - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT NBR 15.270 - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM. **Nota Técnica, Gestão de Coprodutos, Panorama do setor siderúrgico.** Brasil, Brasília, 2008.
- Ciuccio, Marialice. **Estudo de tendências e oportunidades no desenvolvimento sustentável para a reciclagem de veículos e seis materiais.** Pós-graduação em ciência e engenharia dos materiais, Universidade federal de São Carlos. Brasil, São Carlos, 2004.
- Ferreira, Fernanda. **Análise da eficiência relativa das usinas mini-mills da Gerdau S.A nas Américas: Um estudo a partir da análise envoltória de dados.** Pós- graduação em ciências contábeis, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Brasil, São Leopoldo, 2012.
- Guia Técnico Ambiental de Cerâmica Vermelha,** Belo Horizonte, 2013.
- Junior, José. **Obtenção, mercado e reciclagem de sucatas ferrosas na indústria siderúrgica brasileira** - Graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade federal do Rio de Janeiro. Brasil, Rio de Janeiro, 2013.
- Relatório Caracterização do Resíduo do Shredder,** Universidade Federal de Caxias do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Laboratório de Energia e Bioprocessos, 2016.
- Relatório Setorial 04-ICNBR,** Programa Setorial da Qualidade Blocos Cerâmicos, Associação Nacional da Indústria Cerâmica – ANICER. Rio de Janeiro, 2008.
- Vieira, Amanda. **Análise do Processo Produtivo dos Tijolos Cerâmicos no Estado do Ceará – da Extração da Matéria-Prima à Fabricação** – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Brasil, Fortaleza, 2009.