

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL

Reaproveitamento do pó de balão da indústria siderúrgica como matéria prima na cerâmica vermelha

Taiana da Silva Ferreira¹ (taianadsf@gmail.com), Juan Alves Ataidés² (juan.ataides@hotmail.com), Marcos Arnon Dias da Silva² (arnondias@gmail.com), Felipe J. M. Mesquita¹ (felipej.mesquita@gmail.com) Ana Júlia S. da Silva Barbosa² (ajsbarbosa@gmail.com)

1 Núcleo de desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE) – Universidade Federal do Pará (UFPA)

2 Universidade do Estado do Pará (UEPA)

RESUMO

A geração de resíduos industriais representa uma das grandes problemáticas ao meio ambiente por apresentar potenciais riscos em função da presença de metais pesados em sua composição, produtos químicos, gases tóxicos e outras substâncias que podem interferir no padrão de qualidade ambiental e saúde pública. Tendo isso em vista, há certa preocupação com o tratamento adequado destes resíduos de forma a mitigar ou eliminar tais propriedades nocivas. Uma das formas que se estuda para tratamento de resíduos sólidos industriais é a incorporação deste material na cerâmica vermelha. Este trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade do reaproveitamento do “pó de balão”, resíduo de granulometria fina originado no sistema de limpeza de gases à seco no alto-forno de indústria siderúrgica, através da sua incorporação na cerâmica vermelha. Avaliou-se as características químicas das matérias primas utilizadas na fabricação da cerâmica vermelha e o comportamento físico mecânico e químico de corpos de prova fabricados com a incorporação de percentuais de 0%, 2%, 4% e 6% de “pó de balão” na produção de cerâmica vermelha, sendo estes sinterizados a temperaturas de 950°C, 1050°C e 1150°C. Este estudo torna evidente que é possível a utilização de até 6% do resíduo como matéria prima na cerâmica vermelha sem que haja interferência significativa nas propriedades estruturais e técnicas do material resultante.

Palavras-chave: pó de balão; argila; cerâmica vermelha.

Reuse of the balloon powder of the steel industry as raw material in red ceramics

ABSTRACT

The generation of industrial waste represents one of the major environmental problems because it presents potential risks due to the presence of heavy metals in its composition, chemicals, toxic gases and other substances that may interfere with the environmental quality and public health standards. In view of this, there is some concern about the proper treatment of these wastes in order to mitigate or eliminate such noxious properties. One of the ways that is studied for the treatment of solid industrial waste is the incorporation of this material in red ceramics. This work aims to study the feasibility of reuse of the “pó de balão”, a residue of fine granulometry originated in the dry gas cleaning system in the blast furnace of the steel industry, through its incorporation in the red ceramics. It was evaluated the chemical characteristics of the raw materials used in the manufacture of red ceramics and the physical and chemical behavior of test specimens manufactured with the incorporation of percentages of 0%, 2%, 4% and 6% of “pó de balão” in the production of red ceramics, these being sintered at temperatures of 950 ° C, 1050 ° C and 1150 ° C. This study makes it evident that it is possible to use up to 6% of the waste as raw material in the red ceramics without significant interference in the structural and technical properties of the resulting material.

Keywords: “pó de balão”; clay; red ceramic.

1. INTRODUÇÃO

A atividade industrial comporta na maioria de seus processos, uma série de impactos ao meio ambiente em grandezas espaciais diversas. De uma forma mais direta, cita-se o descarte de resíduos sólidos no meio como uma das principais preocupações da indústria e da população como um todo. Além disso, existe o desafio de aliar o desenvolvimento econômico, garantindo a conservação dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e a manutenção de condições adequadas de saúde pública.

O uso da reciclagem abrange técnicas para o aproveitamento de resíduos e de rejeitos e o introduz novamente ao ciclo de produção. A importância da reciclagem de resíduos não é somente para redução do uso de recursos naturais, mas para a preservação da fauna e flora, diminuições de emissões de poluentes, menor consumo de energia e melhoria da saúde da população (MENEZES *et al.*, 2002).

No caso da siderurgia, os impactos ocasionados por atividades desse porte e complexidade de logística representam grandes riscos de contaminação do solo, recursos hídricos e atmosfera, devido principalmente à presença em seus resíduos, efluentes e emissões gasosas, de metais pesados, produtos químicos, gases tóxicos e outras substâncias em sua composição que interferem na qualidade ambiental do meio interno ou externo da indústria.

De acordo com Betini (2007), a política ambiental nacional e mundial orienta que segmentos produtivos utilizem elementos recicláveis a fim de evitar a contaminação de resíduos no meio ambiente, além da necessidade de aproveitamento dos resíduos em processos industriais.

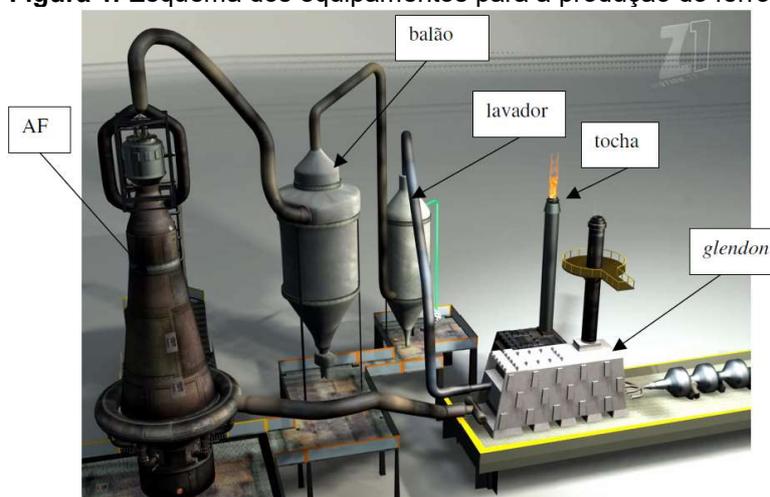
A siderurgia gera uma quantidade diversificada de resíduos industriais, entre os quais podemos citar o pó de balão (PB) que consiste em um pó de granulometria fina oriundo do sistema de limpeza a seco dos gases de alto-fornos siderúrgicos. Resíduos desse tipo ocasionam grandes problemas quando descartados e manuseados sem o devido cuidado em função de sua granulometria e potencial de risco.

Devido às características de que se tem conhecimento desse tipo de resíduo industrial surgem aspectos ambientais na indústria siderúrgica que necessitam ser estudados em função de seu risco. Por isso, há a necessidade de se buscar alternativas para o reaproveitamento e reciclagem desses, de forma a não agredir o meio ambiente, como a incorporação do pó de balão em produtos cerâmicos.

1.1 Alto forno

Rizzo (2005) define que o alto-forno (AF) é um reator metalúrgico empregado na produção de ferro-gusa, através da fusão redutora de minérios de ferro em presença de carvão vegetal ou coque e fundentes, os quais são carregados pelo topo e, na descida, são transformados pela ação dos gases ascendentes, provenientes de combustão do carvão com oxigênio soprado pelas ventaneiras, obtendo-se escória e o ferro-gusa, depositados no cadinho e as poeiras e os gases no topo. No interior do AF estão reagindo sólidos, líquidos e gases. A temperatura varia de 150°C no topo até 2100°C nas regiões inferiores. A Figura 1 demonstra as instalações do AF e suas instalações auxiliares.

Figura 1. Esquema dos equipamentos para a produção do ferro-gusa



Fonte: Metalsider LTDA / Z1 Motion (2010) apud Ribeiro (2011)

1.2 Pó de balão (PB)

Para Rizzo (2010), o pó de alto-forno é o subproduto resultante do processo de limpeza na passagem do gás de alto-forno através do balão de pó ou balão coletor. O autor afirma que este pó tem uma composição que varia de acordo com a matéria-prima usada, cuja composição é de aproximadamente 25 a 40% de Fe, 40 a 45% de C, 5 a 7% de SiO₂, e 2 a 4% CaO. O PB pode ser enviado à unidade de sinterização de uma usina siderúrgica integrada, entretanto há necessidade de instalações industriais de sinterização para este tipo de processamento do material.

Sabe-se que a destinação de 74% do resíduo sólidos “pó do balão do alto-forno/pó do balão”, se dá a céu aberto nos pátios das empresas, possibilitando a contaminação do solo e dos corpos d’água locais e ainda, que a falta de políticas e diretrizes para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais constitui um dos problemas ambientais mais graves, com o qual o setor siderúrgico tem se deparado nos últimos tempos. Esse resíduo, dentro das condições estudadas, foi caracterizado e classificado como Resíduo Perigoso “Classe I- Perigoso”, segundo NBR 10004 (2004).

1.3 Resíduos sólidos industriais

Para efeito de definição a Res. CONAMA n° 313 (2002) conceitua resíduo sólido industrial (RSI) como todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

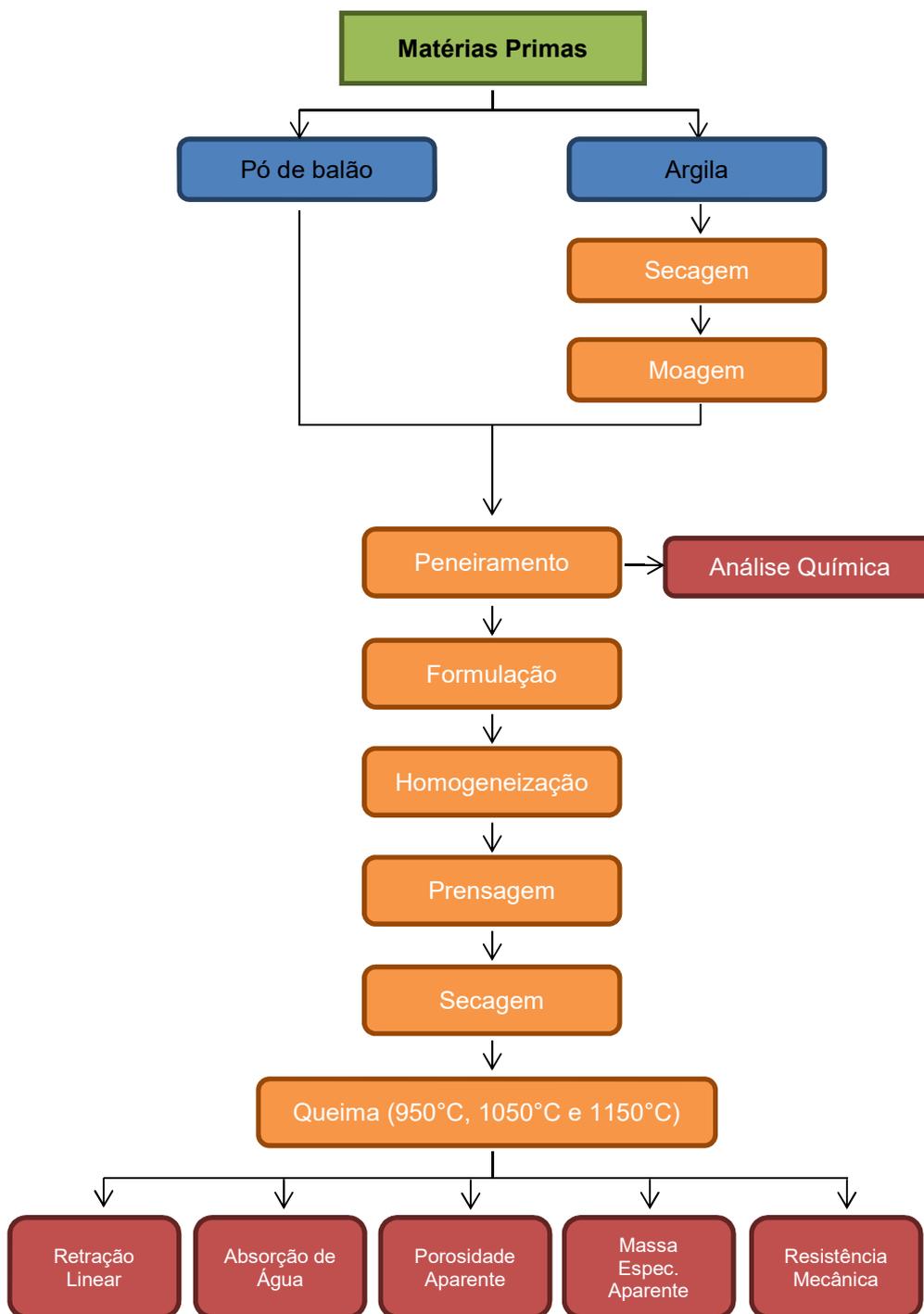
2. OBJETIVO

Avaliar a viabilidade do uso do resíduo de Pó de Balão, originado na indústria siderúrgica, para produção de cerâmica vermelha.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste nos procedimentos de preparo das matérias primas, fabricação dos corpos de prova, ensaios físico-mecânicos e análises químicas, e por fim análise dos resultados obtidos, como mostra a Figura 2.

Figura 2. Fluxograma metodológico



3.1 Preparo da matéria primas

O procedimento da coleta foi realizado diretamente na fonte e imediatamente no momento de sua geração, ou seja, no ponto de descarga do sistema de limpeza de gases de alto forno à seco, que neste caso compreende o balão coletor conforme a Figura 3.

Figura 3. Coleta do pó de balão



A argila utilizada para a confecção dos CPs foi fornecida pelo Laboratório de Materiais Cerâmicos (LMC) da Universidade Federal do Pará - UFPA, a qual foi coletada no pátio de secagem de argilas da Cerâmica Fernandes, localizada na região.

3.1.1 Secagem da argila

Esta etapa consistiu em submeter a argila à um processo de secagem em estufa à uma temperatura de 110°C durante um período de 24 horas fazendo a pesagem do material, com o auxílio de uma balança semi-analítica (MARTE UX82000S), antes e depois da secagem para remover o teor de umidade do material.

3.1.2 Moagem da argila

A argila foi moída durante um período de dez horas com o uso de um moinho de jarro de porcelana (SOLAB SL-35), de forma a fragmentar os torrões e reduzir da granulometria das partículas, de acordo com a Figura 4.

Figura 4. Moagem da argila no moinho



3.1.3 Peneiramento

Nesta etapa do preparo de matérias primas, foi utilizada uma peneira granulométrica 100 mesh de malha de aço inoxidável, com o auxílio de um pincel, para realizar o peneiramento de aproximadamente 600g de pó de balão e cerca de 4,5 Kg da argila seca moída.

3.1.4 Análise química e índice de perda ao fogo das matérias primas

A análise química das matérias-primas foi realizada no laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas em Ananindeua-PA (Região Metropolitana de Belém). Para esta análise foi feito o procedimento através de um espectrofotômetro de fluorescência de raios-X por Energia Dispersiva (FRX ou XRF) com uma metodologia já aplicada em outros estudos feitos no laboratório.

Para a determinação da perda ao fogo dos materiais, foram pesados 10g de argila e de pó de balão, previamente secos em estufa à 110°C, e estes foram submetidos à uma temperatura de 950°C durante o período de 1 hora. Em seguida os materiais foram colocados em um dessecador durante 30 minutos e foram novamente pesados. A partir daí calculou-se então as diferenças das massas em porcentagem

3.2 Preparo dos corpos de prova

3.2.1 Formulação

Para a fabricação dos corpos de prova (CP) foram definidas quatro formulações com concentrações de 0%, 2%, 4% e 6% de pó de balão na composição da massa, da qual devem ser feitos 60 (sessenta) CP para cada formulação, sendo que estes foram divididos para serem submetidos à 3 (três) temperaturas diferentes de sinterização, 950°C; 1050°C e 1150°C, resultando num total de 240 corpos de prova, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Corpos de prova e suas propriedades

Identificação do corpo de prova	Massa Cerâmica	Temperatura(°C)	Nº de corpos de prova
T1 0%	100% argila 0% pó de balão	950°	20
T1 2%	98% argila 2% pó de balão	950°	20
T1 4%	96% argila 4% pó de balão	950°	20
T1 6%	94% argila 6% pó de balão	950°	20
T2 0%	100% argila 0% pó de balão	1050°	20
T2 2%	98% argila 2% pó de balão	1050°	20
T2 4%	96% argila 4% pó de balão	1050°	20
T2 6%	94% argila 6% pó de balão	1050°	20
T3 0%	100% argila 0% pó de balão	1150°	20
T3 2%	98% argila 2% pó de balão	1150°	20
T3 4%	96% argila 4% pó de balão	1150°	20
T3 6%	94% argila 6% pó de balão	1150°	20
TOTAL			240

A metodologia utilizada para a fabricação dos CP's foi baseada no trabalho de Jimenez (2011) e seguindo também métodos empregados pelos técnicos do LMC em outros trabalhos científicos.

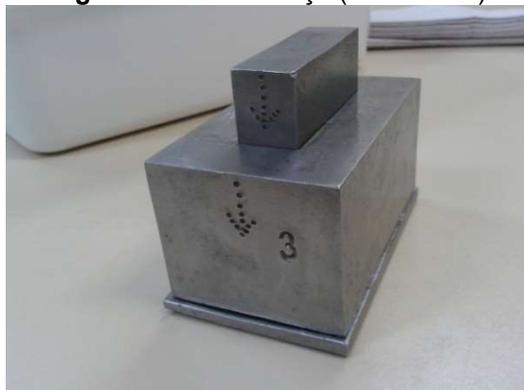
3.2.2 Homogeneização

Com as matérias primas (pó de balão e argila) em uma granulometria de 100 mesh, foi realizada a mistura dos materiais seguindo as proporções de sua formulação, com exceção da formulação com argila pura.

3.2.3 Prensagem

Com as massas cerâmicas dos 12 tipos de formulação preparadas, estas massas foram submetidas ao processo de secagem, sendo primeiramente feita a dosagem para cada corpo de prova fazendo a pesagem de 16g de sua respectiva formulação. A partir de então, cada amostra de 16g para cada corpo de prova foram dispostas em uma matriz de aço de dimensões de 6cm x 2 cm (Figura 5), e submetidas à uma prensagem de 250kgf/cm², aproximadamente 24,5 MPa, por meio de uma prensa hidráulica uniaxial com capacidade de 15 ton.

Figura 5. Matriz de aço (6cm x 2cm)



3.2.4 Secagem

Os CP's moldados seguem para a estufa durante um período de 24 horas à uma temperatura de 110°C, tendo em vista prepará-los para o processo de queima. Após o processo de secagem são aferidas as dimensões e a massa dos CP's.

3.2.5 Queima

Antes da queima, os CP's foram submetidos a calcinação, também conhecido como pré-queima, que consistiu em aquecer os CP's à uma temperatura de 300°C durante o período de 1 hora em um forno elétrico do tipo mufla EDG, para a remoção dos materiais voláteis dos corpos de prova e evitar danos ao forno de sinterização. Após a calcinação, foi realizado o processo de sinterização (queima) nas temperaturas pré-definidas de 950°C, 1050°C e 1150°C durante um período de 2 horas, com taxa de aquecimento de 10°C por minuto em um forno elétrico INTI FE-1500 (Figura 6).

Figura 6. Forno INTI FE-1500 utilizado na sinterização dos corpos de prova



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise química e índice de perda ao fogo das matérias-primas

Os resultados da análise da composição química realizada na fluorescência de raios-x estão dispostos na tabela 2. Esta é uma análise qualitativa que permite estabelecer a concentração de cada elemento presente na amostra referentes ao pó de balão e da argila em uma granulometria de 250mesh. O índice de perda ao fogo (PF) é uma análise quantitativa da perda de massa do material após a etapa de queima (MENDONÇA; FERREIRA; PAVAN, 2017). O índice de PF do resíduo de PB e da argila representaram 45% e 9% da amostra respectivamente.

Tabela 2. Composição química e concentração dos compostos nos materiais

Composto	Pó de balão (%)	Argila (%)
SiO ₂	58,35%	58,46%
Al ₂ O ₃	28,26%	27,83%
Fe ₂ O ₃	8,83%	9,01%
K ₂ O	2,89%	2,92%
TiO ₂	1,10%	1,10%
BaO	0,51%	0,60%
ZrO ₂	0,05%	0,06%
Rb ₂ O	0,02%	0,02%

4.2 Caracterização físico-mecânica dos corpos de prova

Após as análises das características das 20 unidades de cada um dos 12 tipos de corpos de prova, foram descartados o maior e menor valor dos parâmetros de retração linear (RL), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA) e resistência mecânica à compressão (TRC). A média dos 18 resultados restantes para todos os parâmetros dos 12 tipos de corpos de prova estão apresentadas nas tabelas 3, 4 e 5. A análise da resistência mecânica dos corpos de prova foi realizada por meio de ensaio de tensão de resistência à compressão, expresso na figura 7.

Tabela 3. Caracterização dos corpos de prova sinterizados a 950°C

CP	Formulação	RL (%)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRC (MPa)
T1 0%	Argila 100% Resíduo 0%	1,49%	19,70%	35,75%	1,81	9,64
T1 2%	Argila 98% Resíduo 2%	1,61%	21,13%	37,19%	1,76	10,93
T1 4%	Argila 96% Resíduo 4%	1,41%	20,86%	37,01%	1,77	11,74
T1 6%	Argila 94% Resíduo 6%	2,16%	18,58%	33,75%	1,81	8,66

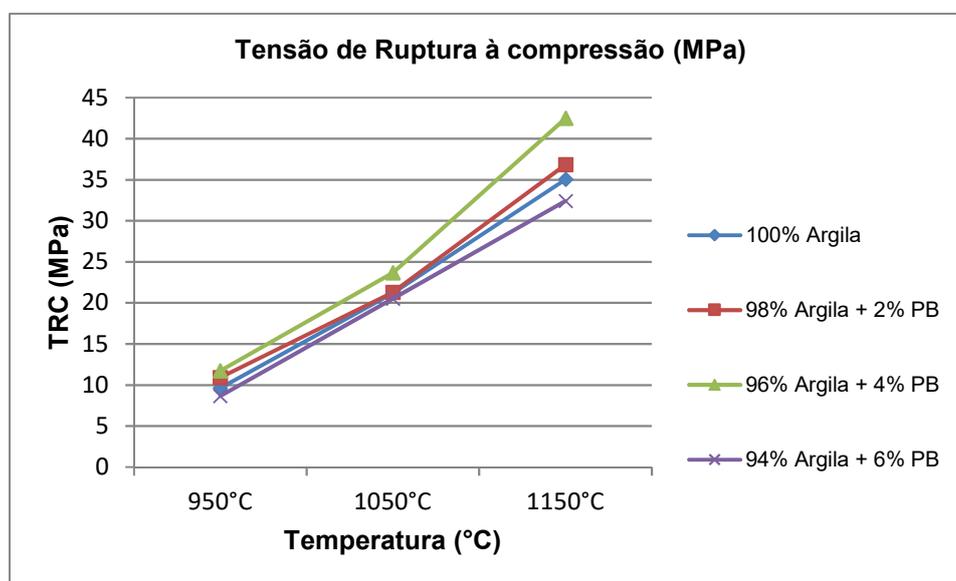
Tabela 4. Caracterização dos corpos de prova sinterizados a 1050°C

CP	Formulação	RL (%)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)
T2 0%	Argila 100% Resíduo 0%	5,22%	13,33%	27,44%	2,05	21,17
T2 2%	Argila 98% Resíduo 2%	5,34%	12,53%	25,65%	2,04	21,3
T2 4%	Argila 96% Resíduo 4%	4,88%	14,05%	28,13%	2	23,66
T2 6%	Argila 94% Resíduo 6%	5,77%	11,41%	23,63%	2,07	20,52

Tabela 5. Caracterização dos corpos de prova sinterizados a 1150°C

CP	Formulação	RL (%)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)
T3 0%	Argila 100% Resíduo 0%	10,76%	3,42%	8,69%	2,54	35,05
T3 2%	Argila 98% Resíduo 2%	10,92%	4,18%	10,09%	2,41	36,84
T3 4%	Argila 96% Resíduo 4%	10,15%	4,61%	11,05%	2,39	42,48
T3 6%	Argila 94% Resíduo 6%	10,22%	3,54%	8,58%	2,42	32,41

Figura 7. Tensão de Ruptura à compressão dos corpos de prova analisados



A adição de até 4% de PB demonstrou ganhos de resistência com relação aos CP de referência, enquanto que a adição de 6% do resíduo resultou em um decréscimo de aproximadamente 10% na resistência final a compressão.

5. CONCLUSÃO

Através dos ensaios físicos mecânicos, foi comprovada a viabilidade de utilizar o pó de balão como adição à matéria prima de cerâmica vermelha, pois a adição de até 6% do material na massa cerâmica dos corpos de provas nas três temperaturas diferentes não provocou variações significativas em suas propriedades físico-mecânicas analisadas: retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência.

Em relação à temperatura de queima dos CP's, concluiu-se que tanto os corpos de prova de referência quanto os constituídos com pó de balão sinterizados a 950°C e 1050°C, apresentaram as suas propriedades físico-mecânicas adequadas ao produto final e em conformidade com a NBR 15270-1 (2017) que determina limites de absorção de água e resistência mecânica. Entretanto, os corpos de prova sinterizados a 1150°C apresentaram uma retração linear bastante acentuada e absorção de água abaixo do limite exigido pela norma, sendo considerados impróprios em função destes resultados.

O reaproveitamento do pó de balão como adição na cerâmica vermelha possibilita benefícios ambientais, pois evitará o descarte deste resíduo na natureza, além disto, permitirá reduzir a extração da argila, a principal matéria prima utilizada na cerâmica vermelha

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15270-1. Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos e Tijolos para alvenaria - Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2017. 29p.

BRASIL, 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. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.

BRASIL, Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Diário Oficial da União, Brasília, 2002.

BETINI, Daniele Gioppo. Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá. 2007. 145 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)- Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/ppgec/data/producaocientifica/danielebetini.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2018.

MENDONÇA, Gabryella C.; FERREIRA, Cristiano C.; PAVAN, Flávio A. Análise da perda ao fogo de corpos de prova cerâmicos formulados com cinza leve proveniente da gaseificação do carvão mineral pulverizado. In: V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2017, CRICIÚMA - SC. Anais [...]. CRICIÚMA - SC: [s. n.], 2017. Disponível em: <http://www.swge.inf.br/ANAIS/CBCM2017/PDF/CBCM2017-0032.PDF>. Acesso em: 18 mar. 2018

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C.. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662002000200020&lng=en&nrm=iso>. acesso em 18 Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200020>.

RIZZO, E. M. S. Análise de sustentabilidade dos processos siderúrgicos. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, São Paulo, 2010.

RIZZO, E. M. S. Introdução aos processos siderúrgicos. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2005. 150 p.