

## ANÁLISE DA VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DO PÓ DE DESPOEIRAMENTO SIDERÚRGICO EM CERÂMICA VERMELHA

**D. M. S. Santos; S. S. Gonçalves; E. B. B. Mocbel; A. C. C. Barbosa; A. P. S. Leal; S. A. Lopes; E. F. Feitosa; G. S. Silva; A. A. Rabelo; E. Fagury Neto**

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Materiais

Nova Marabá, Fl 17, Qd. 04, Lt Especial, CEP 68505-080, Marabá, Pará, Brasil

danilo.marciano@gmail.com; fagury@unifesspa.edu.br

### RESUMO

*O objetivo do presente trabalho foi o estudo da variação das propriedades físico-mecânicas de cerâmicas feitas a partir duas argilas (gorda e magra) com adição do pó de despoejamento da unidade de sinterização de uma usina siderúrgica local (PDS), o qual foi adicionado em proporções de 3%, 5%, 7% e 10%. Os corpos-de-prova foram conformados por prensagem uniaxial de dois estágios, calcinados por 2 horas a 300 °C e sinterizados por 2h nas temperaturas de 900°C, 1000°C e 1100°C. As propriedades analisadas foram: densidade aparente, absorção de água, porosidade aparente, retração linear de queima, módulo de ruptura à flexão e índice de plasticidade. As matérias primas e os produtos foram caracterizadas com o intuito de se avaliar tais propriedades. Tal metodologia apresentou bons resultados, sob perspectivas de desenvolvimento de futuros trabalhos relacionados à área.*

**Palavras-chave:** *Cerâmica, argila, pó de despoejamento, propriedades, caracterização.*

### 1. INTRODUÇÃO

A incorporação de resíduos industriais em cerâmica vermelha vem se tornando uma prática muito difundida mundialmente e que tem como principal finalidade dar uma destinação final e ambientalmente correta aos resíduos. A variabilidade natural das características das argilas e o emprego de técnicas de processamento

relativamente simples para fabricação de cerâmicas vermelhas, tais como blocos de vedação e telhas, facilitam a incorporação de outros tipos de materiais. Alguns destes materiais na forma resíduos até facilitam o processamento e melhoram a qualidade do produto final <sup>(1)</sup>.

A lavra, classificação, manuseio e transporte do minério de ferro geram uma quantidade elevada de partículas finas e ultrafinas cuja aplicação direta na indústria siderúrgica é impraticável. Quando a quantidade desses finos produzidos na planta ultrapassa a quantidade exigida para seu retorno ao processo, faz-se necessário propor alternativas viáveis para sua reutilização, evitando-se o seu descarte e posteriores danos ao meio ambiente<sup>(2)</sup>.

Portanto, neste trabalho propôs-se a incorporação do rejeito oriundo da unidade de sinterização de uma usina siderúrgica local, em formulações de cerâmica vermelha, para se avaliar as propriedades dos materiais produzidos e se determinar, a partir dos resultados obtidos, a viabilidade de reutilização deste co-produto industrial.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. MATERIAIS**

As argilas utilizadas nas formulações foram de dois tipos: uma argila magra, denominada AM, com menor plasticidade e uma argila gorda, denominada AG, de maior plasticidade. Ambas foram fornecidas pela Cerâmica Castanheira Ltda., localizada na cidade de Marabá, Pará. As argilas foram secas e posteriormente desaglomeradas com almofariz e pistilo e, em seguida peneiradas de forma a apresentarem a granulometria adequada de 100 mesh Tyler.

O rejeito utilizado nas formulações cerâmicas foi o pó de despoeiramento da sinterização (PDS) e foi fornecido pela Siderúrgica Norte Brasil S.A., localizada no Distrito Industrial da cidade de Marabá, Pará, que foi seco e em seguida peneirado até granulometria de 100 mesh Tyler.

## 2.2. MÉTODOS

As matérias primas foram caracterizadas por fluorescência de raios-X, utilizando-se para tanto o equipamento Shimadzu EDX 720. A Tabela 1 mostra as formulações cerâmicas desenvolvidas neste trabalho.

**Tabela 1** - Formulações propostas para o desenvolvimento do trabalho

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	AG (%)	AM (%)	PDS (%)
1	A1	100	-----	-----
2	A2	-----	100	-----
3	A3 / F1	50	50	-----
4	A4 / F2	48,5	48,5	3
5	A5 / F3	47,7	47,7	5
6	A6 / F4	46,5	46,5	7
7	A7 / F5	45	45	10

Fonte: AUTOR (2016)

As amostras foram confeccionadas através de prensagem em matriz de aço retangular (60 x 20 mm), aplicando-se duas cargas: inicialmente 1,5T (12,25 MPa) e posteriormente 3T (24,5 MPa). Em seguida foram calcinadas a 300 °C por 2h, e posteriormente submetidas a sinterização nas temperaturas de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C por um período de 2h de patamar.

Os ensaios tecnológicos realizados nas amostras sinterizadas foram: densidade aparente (DA), retração linear de queima (RLQ), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e resistência mecânica através do módulo de ruptura a flexão (MRF), este último avaliado utilizando-se uma máquina universal de ensaios marca EMIC, modelo DL10000. Os demais ensaios tecnológicos foram avaliados utilizando-se o método de Arquimedes.

Foram determinados os índices de plasticidade das formulações desenvolvidas, bem como a determinação do gráfico de zonas de extrusão e o processo de separação magnética no PDS para se avaliar a influência da possível presença de ferro neste insumo.

A Figura 1 demonstra, em forma de fluxograma, todas as etapas do procedimento experimental, seguido do sequenciamento das atividades realizadas no trabalho.

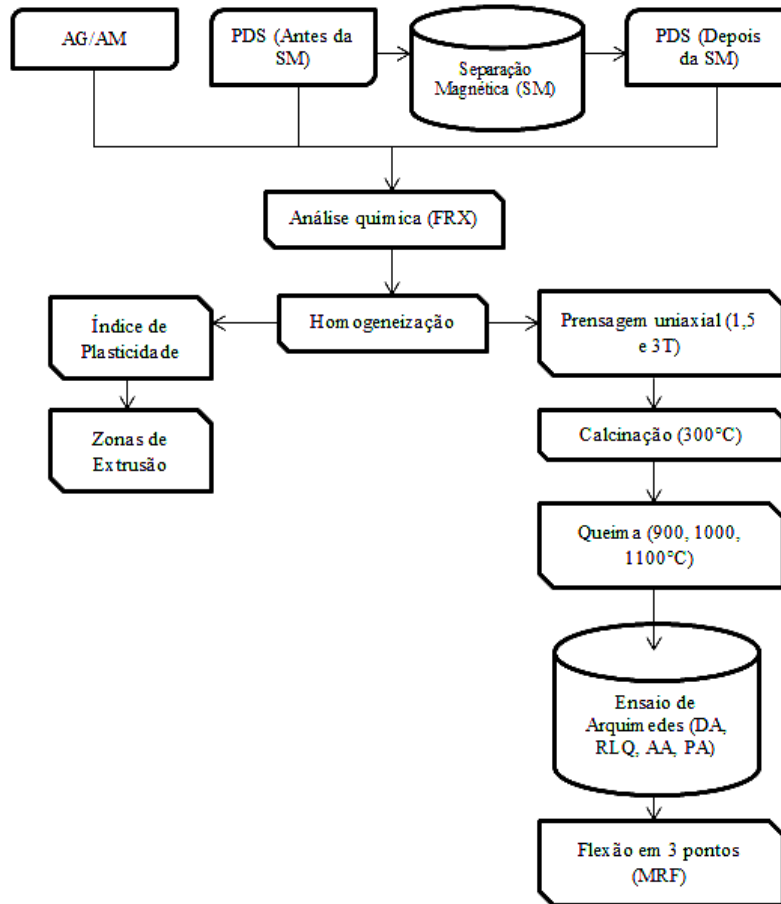


Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho. Fonte: AUTOR (2016)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram analisados de forma comparativa, tendo-se por base o comportamento do produto com adição do rejeito antes do processo de separação magnética da hematita (ANTES) e depois da separação (DEPOIS). Os resultados dos ensaios tecnológicos foram também comparados às normas correspondentes que viabilizam a utilização destas formulações na indústria de cerâmica estrutural.

### 3.1. ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados da análise química por FRX da argila e do pó de sinterização, tanto antes quanto depois de ser submetido ao processo de separação magnética, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Composição química das matérias primas utilizadas, por FRX.

Matéria Prima	Teor (%)						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO
Argila	58,972	25,193	9,154	2,450	0,940	0,262	-----
PDS (ANTES)	9,169	7,962	72,213	0,157	-----	8,763	0,769
PDS (DEPOIS)	27,955	16,846	13,866	5,538	-----	25,658	4,789

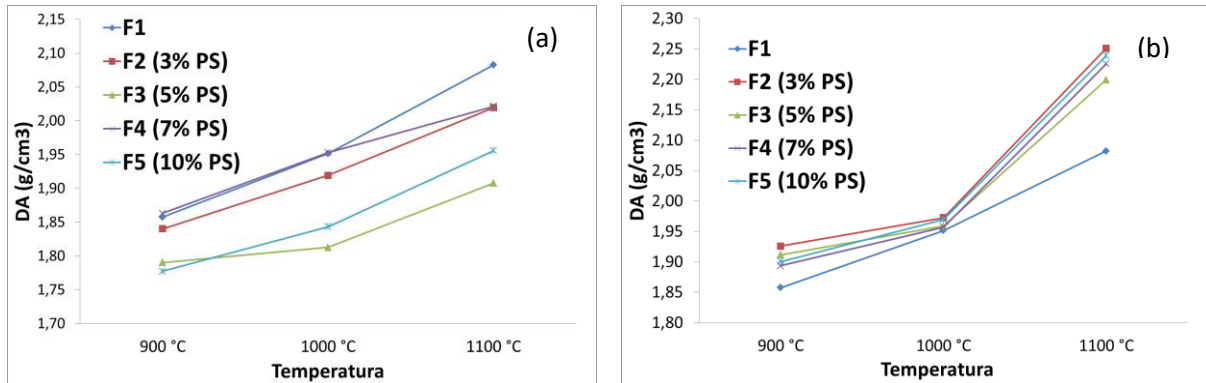
Fonte: UAEMa-UFCG (2016)

Observa-se que a argila apresenta composição típica de argilas da região Sudeste do Pará, rica em SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na faixa de 9%<sup>(1)</sup>. Outra característica referente à argila é o baixo teor de óxidos fundentes como o óxidos de magnésio (MgO), potássio (K<sub>2</sub>O) e cálcio (CaO).

No pó da sinterização, observa-se inicialmente um elevado teor de óxido de ferro, seguido de valores mais baixos de sílica e alumina. Isto implica em uma menor adição do rejeito à argila, uma vez que, apesar do mesmo apresentar uma quantidade baixa de sílica, não causaria perdas significativas na plasticidade dos corpos de prova; o excesso de óxido de ferro, além de alterar a coloração, reduz de forma drástica a resistência mecânica. Com a realização da separação magnética, o teor de hematita reduziu consideravelmente (cerca de 81% do teor inicial), o que concentrou ainda mais os demais óxidos e favoreceu uma melhoria nas propriedades físico-mecânicas que serão apresentadas em seguida.

### 3.2. DENSIDADE APARENTE (DA)

A Figura 2 apresenta as curvas de densidade aparente das formulações em função da temperatura.

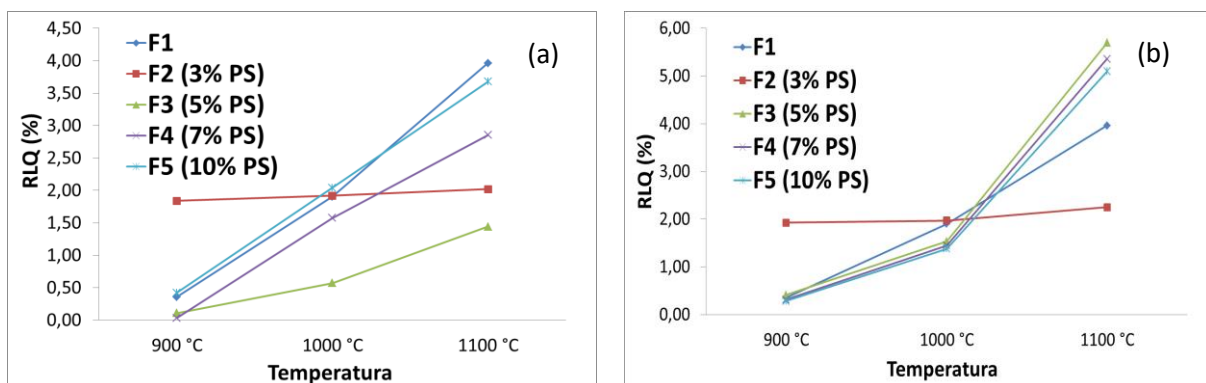


**Figura 1** – Densidade aparente das formulações antes (a) e depois (b) do processo de separação magnética do PDS. Fonte: Autor (2016)

As argilas com emprego em cerâmicas estruturais (tijolos de alvenaria, furados e telhas) devem possuir valores variando entre 1,52 e 2,14 g/cm<sup>3</sup>, quando conformadas por prensagem uniaxial <sup>(4)</sup>. Portanto, todas as formulações podem ser utilizadas para este fim, com algumas atingido faixas até maiores do que a referência, como é o caso das que levam 3, 5, 7 e 10% do rejeito após a separação magnética e que foram sinterizadas a 1100°C.

### 3.3. RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA (RLQ)

A Figura 3 apresenta as curvas de retração linear de queima das formulações em função da temperatura.

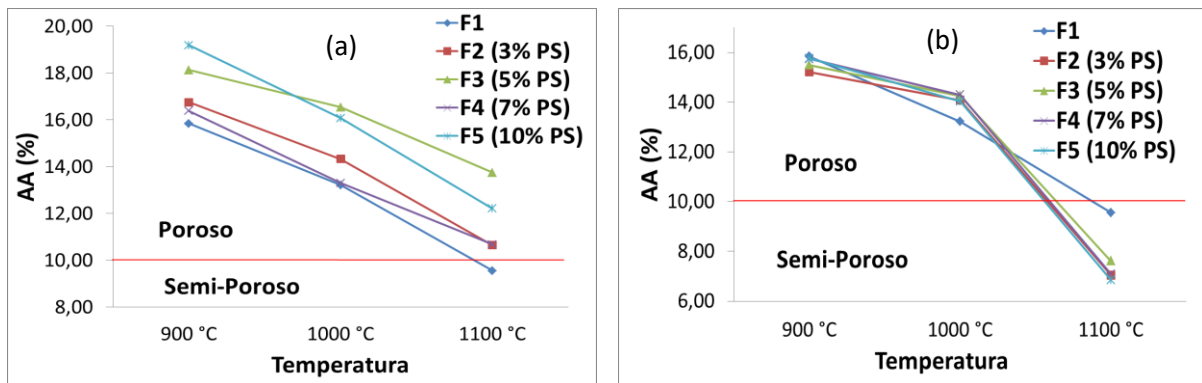


**Figura 2** – Retração linear de queima das formulações antes (a) e depois (b) do processo de separação magnética do PDS. Fonte: Autor (2016)

A RLQ para cerâmicas estruturais não deve exceder 6%, pois uma alta variação pode resultar em um empenamento ou não-uniformidade da peça cerâmica, devido à elevada densificação, podendo gerar falhas no material e comprometendo sua aplicação <sup>(4)</sup>. De acordo com os gráficos apresentados, todas as formulações possuem valores dentro da faixa determinada pela referência.

### 3.4. ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA)

A Figura 4 apresenta as curvas de absorção de água das formulações em função da temperatura.

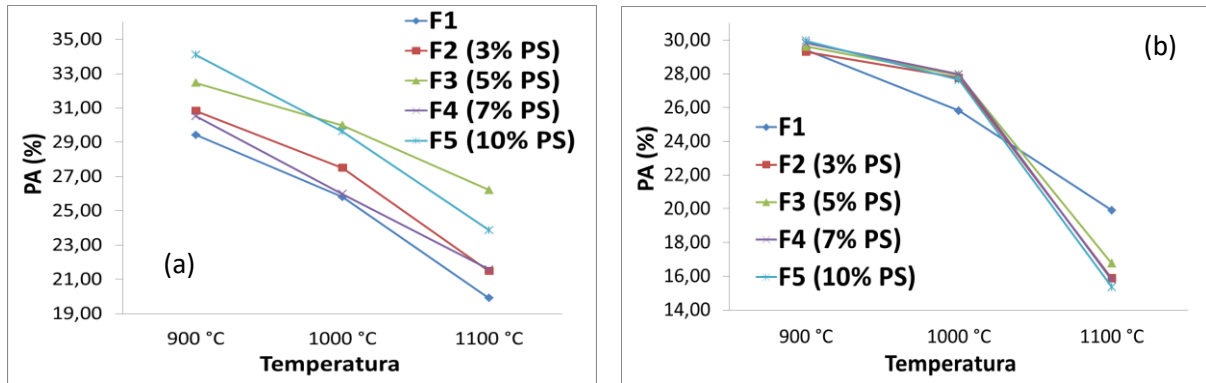


**Figura 4** – Absorção de água das formulações antes (a) e depois (b) do processo de separação magnética do PDS. Fonte: Autor (2016)

De acordo com a norma ABNT NBR 15270-1:2005 os valores de AA não podem exceder 20% para a fabricação de telhas e devem estar na faixa entre 8 e 22% para a fabricação de blocos cerâmicos <sup>(5)</sup>. Com isso todas as formulações do gráfico (a) estão na faixa aceitável para seu uso tanto na fabricação de telhas quanto de blocos e, em relação ao gráfico (b), todas as que tiveram a presença do rejeito, e que foram sinterizadas a 1100°C obtiveram valores abaixo do valor mínimo exigido.

### 3.5. POROSIDADE APARENTE (PA)

A Figura 5 apresenta as curvas de porosidade aparente das formulações em função da temperatura.

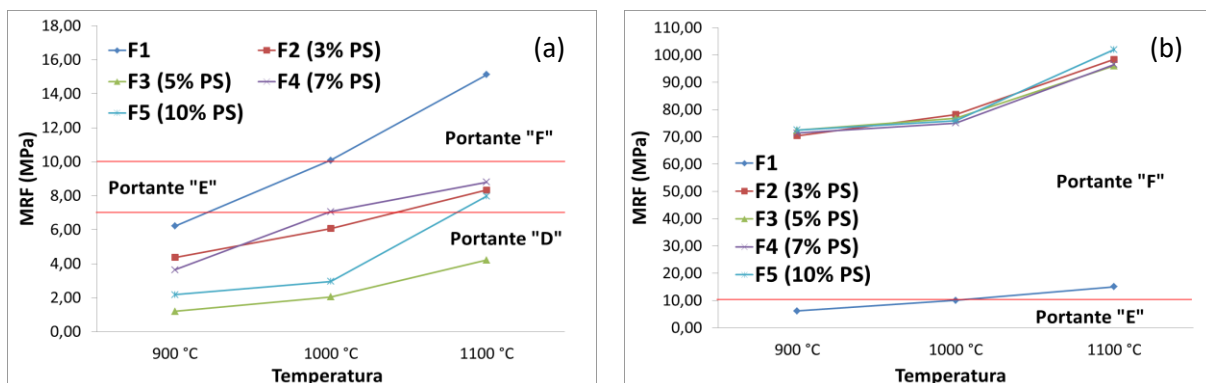


**Figura 5** – Porosidade aparente das formulações antes (a) e depois (b) do processo de separação magnética do PDS. Fonte: Autor (2016)

A porosidade para materiais cerâmicos deve se encontrar nas faixas entre 14 a 35%. Esses valores são os mesmos, tanto para a fabricação de blocos cerâmicos, quanto para telhas <sup>(4)</sup>. Com isso percebe-se que todas as formulações atendem a este requisito, podendo ser utilizadas para a produção destes materiais.

### 3.6. MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO (MRF)

A Figura 6 apresenta as curvas do módulo de ruptura à flexão das formulações em função da temperatura.



**Figura 6** – Módulo de ruptura à flexão das formulações antes (a) e depois (b) do processo de separação magnética do PDS. Fonte: Autor (2016)

A classificação dos tijolos em relação à sua resistência, de acordo com a norma NBR7171/83, mostra que, para o gráfico (a) e a partir da T1, as formulações F2 (3% PDS) e F4 (7% PDS) apresentaram valores aceitáveis para serem utilizados na



confecção de blocos portantes. Porém, não atendem a especificação da norma NBR6462/87, que exige uma resistência de no mínimo 12,74 MPa (130 Kgf/cm<sup>2</sup>) para telhas. Com a retirada do excesso de hematita, as formulações que levam o rejeito passaram a atender as normas (Figura 6b).

Em estudo realizado por Da Silva *et al* (2014), utilizando 3 rejeitos a base de minério de ferro, processados e tratados por dois diferentes métodos (um deles sendo a separação magnética), apontou que altas concentrações de óxidos ferrosos implicam em uma menor aplicabilidade do rejeito em cerâmica vermelha, uma vez que variações em sua estrutura – hexagonal, podendo também se apresentar na forma romboédrica e octaédrica – criam distorções e surgimento de micro defeitos no interior da peça cerâmica e diminuem, portanto, a sua resistência mecânica. Rejeitos com menores concentrações de tais óxidos possuem maiores valores desta propriedade <sup>(7)</sup>. Comportamento semelhante foi observado no presente trabalho, o que vem a confirmar o efeito observado de melhoria nas propriedades tecnológicas em resposta ao menor teor de óxidos de ferro nas matérias primas.

### 3.7. ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)

A Tabela 3 apresenta a curva do índice de plasticidade, antes e depois do processo de separação magnética em função das amostras.

**Tabela 3** – Índice de plasticidade de todas as formulações antes e depois do processo de separação magnética do PDS

		AMOSTRAS						
		1	2	3	4	5	6	7
IP	ANTES				13,33	15,30	15,44	19,59
	DEPOIS	22,57	19,46	18,67	18,81	16,98	16,84	17,05

Fonte: Autor (2016)

Todas as amostras foram classificadas de acordo com Papini (2013), que separa as argilas em fracamente plásticas (IP < 7%), medianamente plásticas (IP entre 7 e 15%) e altamente plásticas (IP > 15%). Com exceção da amostra 4

“ANTES” (3% PDS), que possui um valor medianamente plástico, todas as demais formulações estão acima da faixa de alta plasticidade.

### 3.8. ZONAS DE EXTRUSÃO

A Figura 7 apresenta as zonas de extrusão em que ficaram localizadas as amostras, tanto antes quanto depois do processo de separação magnética. Para uma extrusão aceitável a amostra deve apresentar IP entre 10 e 34% e LP entre 18 e 31%. No entanto, para uma extrusão ótima os valores para IP devem estar entre 15 e 25% e os de LP entre 18 e 25% <sup>(3)</sup>.

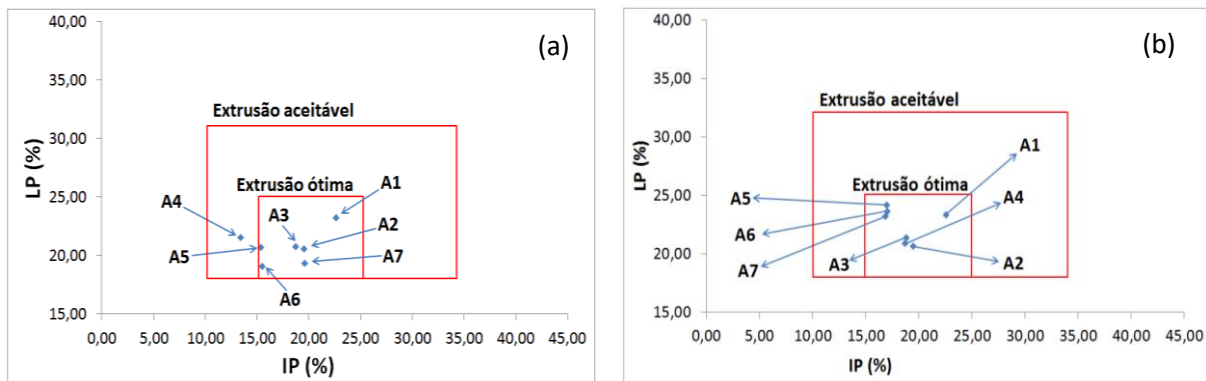


Figura 7 – Zonas de extrusão antes (a) e depois (b) do processo de separação magnética do PDS, mostrando a localização de todas as formulações. Fonte: AUTOR (2016)

De acordo com o gráfico da Figura 7a, das sete amostras analisadas, seis estiveram dentro da zona de extrusão ótima (as mesmas amostras que apresentaram IP acima de 15%) e uma dentro da aceitável (A4), que foi a única que apresentou IP abaixo de 15%. Após o processo de separação magnética, todas as amostras passaram a ficar dentro da zona de extrusão ótima, mostrando uma evolução das formulações quanto a este quesito. Isto mostra que todas as amostras que possuem o rejeito podem ser utilizadas no processo de extrusão para a fabricação de cerâmicas estruturais a verde, pois possuem ótimos níveis de plasticidade.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho confirmam a viabilidade técnica de se incorporar o pó de despoejamento de indústrias siderúrgicas em cerâmica vermelha. Apesar de inicialmente possuir um teor bastante elevado de óxido de ferro, o PDS adicionado em pequenas quantidades apresentou resultados dentro dos padrões exigidos pelas normas para a fabricação de cerâmicas estruturais. A redução da concentração dos óxidos ferrosos por magnetismo propicia uma maior aplicabilidade do rejeito, uma vez que ocorre uma evolução nas propriedades físico-mecânicas da argila. Os valores de plasticidade das formulações com rejeito foram bastante interessantes, com as formulações mantendo-se na faixa de média para alta e ficando dentro das zonas de extrusão aceitável e ótima para a conformação a verde dos corpos cerâmicos, concluindo-se então que tais produtos apresentam as especificações necessárias por norma para a aplicação principalmente em telhas e blocos de alvenaria.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem à Siderúrgica Norte Brasil S.A. e à Cerâmica Castanheira Ltda. pelo fornecimento das matérias-primas; ao Prof. Gelmires Neves (UAEMa-UFCG), pelas análises de FRX.

## REFERÊNCIAS

- (1) Freitas, M. C. **Influência da incorporação do rejeito de minério de ferro de Carajás em formulações de cerâmica estrutural**. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Geociências e Engenharias. Faculdade de Engenharia de Materiais. Trabalho de Conclusão de Curso. Marabá, 2016.
- (2) Silva Santos, D. M.; Gonçalves, S. S.; Mocbel, E. B. B.; Barbosa, A. C. C.; Fagury Neto, E. **Estudo das propriedades físico-mecânicas de cerâmicas argilosas incorporadas com pó de despoejamento e sua viabilidade na fabricação de peças para alvenaria**. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Geociências e Engenharias. Faculdade de Engenharia de Materiais. Artigo apresentado na I Semana Acadêmica de Engenharia Mecânica. Marabá, 2015.
- (3) Paes Santos, C. V.; Silva, A. R.; Guimarães Filho, M. A. S.; Fagury Neto, E.;

Rabelo, A. A. **Índice de Plasticidade e Análise Racional de Argilas de Marabá (PA) para Avaliação das Zonas de Extrusão**. Cerâmica Industrial, 17, 2, pg 25 – 27, Mar/Abr, 2012.

(4) Souza Santos, P. **Ciência e tecnologia de argilas**. Vol. 1. 2ª ed. 408 p. Edgard Blücher: São Paulo, 1989.

(5) Wieck, R.; Duailibi, J. **Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções**. Cerâmica Industrial, 18, 3, pg 16 – 23, Mai/Jun, 2013.

(6) Papini, C. A. **Materiais de construção civil: materiais cerâmicos**. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/AquilesCampagnaro/cermicas-26467332>> Acesso em 14, out. 2015.

(7) Da Silva, F. L.; Araújo, F. G. S.; Teixeira, M. P.; Gomes, R. C.; von Kruger, F. L. **Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic**. Ceramics International, 40, pg 16085-16089, Mai/Jun, 2014.

## THE FEASIBILITY ANALYSIS FOR THE MERGER OF POWDER FROM STEEL MAKING DEDUSTING SYSTEM IN RED CERAMIC

### ABSTRACT

*The aim of this work was to study the variation of physical and mechanical properties of ceramics made from two clays with the addition of dedusting system powder from a local steel making plant (SDP), which was added in proportions of 3%, 5 %, 7 % and 10 %. The test-bodies were shaped by uniaxial two-stage pressing, calcined for 2 hours at 300 °C and sintered at temperatures of 900 °C, 1000 °C and 1100 °C. The analyzed properties were apparent density, water absorption, apparent porosity, linear firing shrinkage, flexural strength and plasticity index. The starting materials were characterized by XRF as well, in order to evaluate the chemical composition. This methodology showed good results in the development of future work related to the area.*

**Keywords:** *pottery clay, dedusting powder, properties, characterization.*