

Estudo e Avaliação do Uso e Escória Granulada de Fundição na Produção de Cerâmicas Estruturais

Ana Siqueira do Nascimento Marreiro Teixeira^{a,b*}, Roberto Arruda Lima Soares^a,
Paulo Ronaldo Sousa Teixeira^{a,b}

^a Laboratório de Materiais Cerâmicos, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Piauí – IFPI, Teresina, PI, Brasil

^b Laboratório de Materiais Avançados – LIMAv, Universidade Federal do Piauí – IFPI, Teresina, PI, Brasil

*e-mail: anamarreiro@ifpi.edu.br

Resumo

Uma das atividades econômicas que mais cresce no estado do Piauí são as cerâmicas estruturais. Isso se deve à elevada demanda e ao fato de se encontrar com facilidade matérias-primas de qualidade no estado. A crescente preocupação com o meio ambiente tem incentivado a busca por processos que inertizem resíduos industriais. Nesse sentido as cerâmicas estruturais têm se mostrado uma excelente alternativa para a inertização de vários resíduos industriais. O presente trabalho avalia a possibilidade de incorporação de uma escória de granulada de fundição a uma massa cerâmicas para indústrias de cerâmica vermelha. Para isso, as matérias-primas massa básica de argilas e escória granulada de fundição foram caracterizadas por análise granulométrica, análise mineralógica, análise química e análise de plasticidade. Os corpos de provas foram conformados por extrusão e queimados nas temperaturas de 800 °C, 850 °C, 900 °C e 950 °C, com adições de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de escória granulada de fundição à massa cerâmica. Em seguida, foram realizados ensaios tecnológicos de retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência mecânica à flexão. Os resultados mostraram que a adição da escória granulada de fundição à massa básica cerâmica é bastante viável, sendo que em alguns casos, houve uma melhoria das propriedades tecnológicas, melhorando a qualidade das peças produzidas. Portanto, pode-se concluir que a adição de escória granulada de fundição à massa básica cerâmica pode ser uma alternativa interessante para a utilização deste resíduo, contribuindo simultaneamente para a melhoria da qualidade das peças cerâmicas e do meio ambiente.

Palavras-chave: escória granulada, meio ambiente, cerâmica estrutural.

1. Introdução

Com a evolução dos processos industriais e o consequente surgimento de inúmeros produtos que rapidamente se tornaram de primeira necessidade, a atividade industrial adquiriu um caráter essencial na atualidade. Embora a sua importância seja indiscutível, a atividade industrial é responsável por gerar um número bastante elevado de resíduos, com diferenciadas formas e características [1].

O panorama atual das indústrias cerâmicas no Piauí é de grande relevância, principalmente quando se fala da produção de cerâmica vermelha estrutural. Este fato decorre da grande disponibilidade de matérias-primas adequadas, além do menor custo de instalação que esse ramo exige para fabricar produtos finais, que são de fácil penetração no mercado local.

A variabilidade natural das características das argilas e o emprego de técnicas de processamento relativamente simples para fabricação de cerâmica vermelha, como blocos de vedação e telhas, facilitam a incorporação de resíduos, melhorando a qualidade do produto final, como é o caso da escória granulada de fundição, investigada neste trabalho [2].

A indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção que

possibilita o consumo de grandes quantidades de resíduos e que, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz da indústria cerâmica como uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos. Ademais, é uma das poucas áreas industriais que podem obter vantagens no seu processo produtivo com a incorporação de resíduos entre suas matérias-primas, a exemplo da economia de matérias-primas de elevada qualidade, cada dia mais escassas e caras, a diversificação da oferta de matérias primas, e a redução do consumo de energia e, por conseguinte, redução de custos [3].

O setor de fundição apresenta estreita relação com o nível de desenvolvimento industrial de um país [4]. O Brasil ocupa a sétima posição no ranking dos países produtores de fundidos [5], indicando sua relevância no contexto mundial e consolidando o avanço de sua indústria. De maneira ambígua, esse setor, também pode ser considerado, simultaneamente, um grande poluidor, pois seus processos produtivos geram grande quantidade de resíduos. Dentre eles, as escórias e as areias de fundição [6].

Assim, as indústrias de fundição têm buscado alternativas para a geração e disposição dos seus resíduos. Uma delas é a reciclagem interna, como por exemplo, os processos

de regeneração e recuperação dos resíduos utilizados, reduzindo por consequência o consumo de insumos. Outra forma é a valorização dos resíduos como matéria-prima de outros processos ou atividades [7].

Baseado nos impactos ambientais gerados pelos resíduos das indústrias de fundição, e na tendência a custos cada vez maiores com disposição em aterros, o interesse em pesquisas para o melhor reaproveitamento das escórias granuladas vem aumentando, tornando esse um material com grande potencial econômico a ser explorado em outros processos industriais, aumentando o desenvolvimento sustentável e diminuindo o potencial poluidor do setor de fundição no Brasil.

Considerando que as indústrias de fundição estão dentre as que mais geram resíduos, e que a indústria de cerâmica estrutural no Piauí é uma das que mais cresce, sentiu-se necessidade de realizar um estudo experimental fazendo o reaproveitamento das escórias granuladas de fundição na produção de cerâmicas estruturais, com a finalidade de melhorar a resistência e qualidade das mesmas, diminuindo os impactos ambientais deste resíduo no meio ambiente.

2. Materiais e Métodos

Para a realização experimental da pesquisa foi coletada uma massa básica de argila na forma de torrões no pátio de uma indústria de cerâmica estrutural da cidade de Teresina. Após a coleta, a massa básica de argila foi desagregada em um moinho de martelo para obter uma granulometria próxima a da indústria cerâmica. A escória granulada de fundição também foi coletada no pátio de uma indústria de fundição, sendo utilizado também o moinho de martelo para desagregação, utilizando em seguida o almofariz para a trituração até o resíduo passar na peneira de 40 mesh.

Para as caracterizações das matérias primas foram utilizados ensaios de: Análise Granulométrica que foi determinada por peneiramento, utilizando cinco peneiras da ABNT em ordem de maior abertura (710 μm) para menor (45 μm) seguido do fundo. A composição química da massa básica de argila e da escória granulada de fundição foi avaliada por Fluorescência de Raios X (FRX), onde utilizou-se o método semiquantitativo, numa atmosfera de vácuo. A Análise de Plasticidade foi realizada somente para a massa básica de argilas e para as formulações, visto que a escória granulada de fundição não possui características plásticas. Esta foi determinada calculando-se o a diferença entre o limite de liquidez e limite de plasticidade (Limites de Atterberg).

As formulações de massas cerâmicas foram feitas com os teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em peso de escória na massa básica de argila, onde posteriormente foi realizada a conformação dos corpos de prova por extrusão.

A etapa de queima de corpos de prova foi realizada em uma mufla utilizando quatro temperaturas: 800 °C, 850 °C, 900 °C e 950 °C. A taxa de aquecimento foi de 2 °C/min em cada queima, o patamar da temperatura máxima foi de 45 minutos. O resfriamento ocorreu de forma natural, com as amostras dentro do forno desligado, até alcançar a

temperatura ambiente. Depois foram realizados os ensaios das propriedades tecnológicas de Retração Linear (RL), Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA), Massa Específica Aparente (MEA), Perda ao Fogo (PF) e Tensão de Ruptura à Flexão (TRF).

3. Resultados

3.1. Caracterização das matérias-primas

De acordo com os resultados da análise granulométrica apresentados na Tabela 1, pode-se observar que a fração de escória apresenta predominância de uma granulometria mais grosseira que a da massa básica de argilas. Este aspecto pode ser justificado pelo resfriamento conseguido após o processo de fundição da escória.

A Tabela 2 apresenta a composição química da massa básica de argilas e da escória. A composição química da massa básica de argilas apresentou como constituintes básicos, os óxidos SiO_2 e Al_2O_3 , com predominância significativa da SiO_2 que está associada ao quartzo, a caulinita e a muscovita. Na escória granulada de fundição pode-se observar a predominância de SiO_2 na composição química, provavelmente oriundo do desgaste do refratário, caracterizando a escória como ácida. Foram também observadas frações predominantes de Al_2O_3 , proveniente também do desgaste do refratário, e frações de óxido de cálcio CaO .

Na Tabela 3 referente a Análise de Plasticidade, pode-se verificar que de acordo com os valores obtidos para a massa básica de argilas, estas podem ser classificadas como massa argila de boa plasticidade, pois, segundo Dondi (2006), o índice de plasticidade aceitável para esse processo é $> 10\%$ [8].

Pode-se observar que à medida que se adiciona a escória granulada de fundição à massa básica de argila, há uma diminuição linear do índice de plasticidade. Estes dados podem estar relacionados a composição química e mineralógica, assim como a granulometria da escória.

3.2. Propriedades tecnológicas

A Figura 1 representa os resultados encontrados da Retração Linear após Secagem (RLs) (110 °C) e Queima (RLq) das formulações estudadas. Após as tabulações dos dados das RLs das amostras cerâmicas,

Tabela 1. Distribuição granulométrica da massa básica de argilas e da escória.

Peneira da ABNT	Abertura (μm)	Concentrações em Peso (%)	
		Massa básica de argilas	Escória
25	710	32,05	53,67
40	425	27,45	34,08
100	150	20,13	6,51
200	75	11,58	3,39
325	45	7,26	2,14
Fundo	-	1,53	0,21

Tabela 2. Componentes químicos da massa básica de argilas e da escória.

Matéria Prima	Componentes químicos (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	MnO	SO ₃	Outros
Argila	60,09	24,84	6,17	6,02	0,98	0,59	0,82	-	-	0,49
Escória	50,80	20,46	4,70	-	10,04	10,38	0,63	2,02	0,51	0,46

Tabela 3. Análise de Plasticidade da massa básica de argilas e das formulações.

Amostra	Índice de Plasticidade		
	Limite de Liquidez (% LL)	Limite de Plasticidade (% LP)	Índice de Plasticidade (% IP)
Massa básica de argilas	40,59	24,70	15,89
Massa básica de argilas + 5% de escória	42,31	27,29	15,02
Massa básica de argilas + 10% de escória	37,05	22,67	14,38
Massa básica de argilas + 15% de escória	34,99	21,53	13,46
Massa básica de argilas + 20% de escória	33,03	20,53	12,50

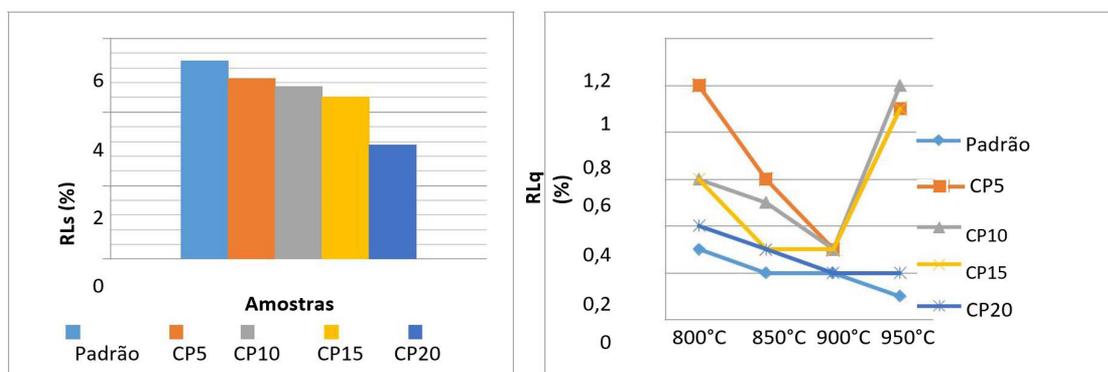


Figura 1. Retração Linear de Secagem (RLs) e Queima (RLq) das formulações estudadas.

verificou-se que apenas a formulação padrão ficou dentro da variação ótima, e as demais ficaram dentro da variação aceitável, de acordo com Dondi (2006) [8], a variação ótima (5%-8%) variação aceitável (3%-10%). Observa-se também com o aumento da concentração do resíduo na massa cerâmica, ocorre uma diminuição da RLs. Isto se deve ao fato do aumento do material não plástico (escória de fundição) na massa, e a consequente diminuição do material plástico (argila).

Já na RLq, a composição padrão além de retrair à medida que se aumentou a temperatura, obteve os menores valores de retração linear de queima. Este comportamento é atribuído ao fechamento da porosidade, que possibilita a densificação das peças acompanhada de retração.

Segundo Dondi (2006) [8], os valores de referência para a RLq são: ótimos quando menor que 1,5% e aceitável entre 1,5% e 3%. De acordo com os resultados, verifica-se que a RLq ficou dentro do padrão ótimo em todas as formulações e temperaturas estudadas. Verificou-se ainda que todos os corpos de prova tiveram resultados similares de RLq que foram de menores ou iguais a 1%, ou seja, a adição da escória não alterou significativamente essa característica. Também se observa uma inflexão no gráfico das formulações com 10% e 15% de escória quando a temperatura de queima

varia de 900 °C a 950 °C. Esta ocorrência pode indicar uma possível expansão dos corpos de prova promovida pela pressão dos gases aprisionados no interior da peça cerâmica após o fechamento dos poros da superfície da peça cerâmica ou pode estar dentro de um erro estatístico devido a variação ser muito pequena (< 1%).

A Figura 2 apresenta os resultados referentes a Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA). As composições com a escória granulada de fundição tiveram comportamentos semelhantes onde a AA diminui com o aumento da temperatura, sendo que a 950 °C a redução foi mais significativa, temperatura na qual ocorreram AA similares em todas as composições. A massa padrão apresentou AA menor nas temperaturas estudadas. Este resultado é compatível com o resultado de RLs, onde se verificou um maior adensamento dos corpos de prova desta formulação e consequente maior fechamento da porosidade. Observa-se também que com incremento da escória, na maioria das temperaturas, houve um pequeno aumento na absorção de água e a formulação CP5 obteve os melhores resultados entre as outras composições com adição de escória.

Também vale ressaltar que todos os resultados encontrados da AA estão de acordo com as normas

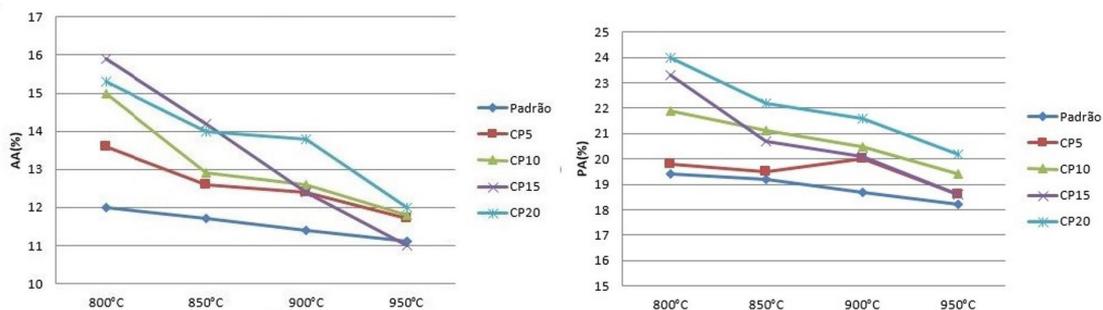


Figura 2. Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA) das formulações.

vigentes regulamentadas pela ABNT para telhas e tijolos. A NBR 15270 [9] e 15310 [10] de 2005 indicam que o índice de absorção d'água deve ser inferior a 20% para telhas, e mínimo de 8% e máximo de 20% para tijolos.

As formulações com a escória granulada de fundição tiveram comportamentos de PA semelhantes aos resultados da AA, que mostram uma redução com o aumento da temperatura, sendo que a 950 °C a redução foi mais significativa.

Os resultados da PA da amostra padrão, ocorreu um decréscimo muito rápido em todas as temperaturas estudadas. Esses resultados corroboram os da AA, em que foi verificada a rápida eliminação dos espaços vazios da peça com o incremento da temperatura.

A perda ao Fogo (PF) representada na Figura 3 mostra que os dados apresentados estão de acordo com a definição da análise, mostrando que houve uma diminuição gradativa do peso em todas as formulações com o aumento da temperatura.

É observado também que a composição padrão, supera os valores das composições com adição de escória granulada de fundição. A composição CP20 apresentou, nas três temperaturas, os menores percentuais de PF. Isso pode ser explicado devido a escória granulada de fundição já ter passado por uma etapa de queima, já nos corpos cerâmicos de massa padrão, os valores são mais expressivos pela decomposição de materiais argilosos, assim como a combustão de matéria orgânica.

Os resultados obtidos para a Massa Específica Aparente (MEA) (Figura 4) apresentaram um comportamento inverso aos da PA e AA. Em todas as formulações estudadas houve um aumento da MEA com o aumento da temperatura. Ou seja, quanto maior a densidade do corpo cerâmico menos espaços vazios no interior da peça.

Na Figura 5 estão representados os valores de Tensão de Ruptura a Flexão (TRF) de Secagem e Queima. De acordo com os resultados da TRF após secagem (110 °C), observa-se uma redução de seu valor com o aumento do teor de escória granulada de fundição, isso pode ter ocorrido pela própria natureza da escória por ser um desplastificante, pelo menor empacotamento na conformação dos corpos de prova provocada pela

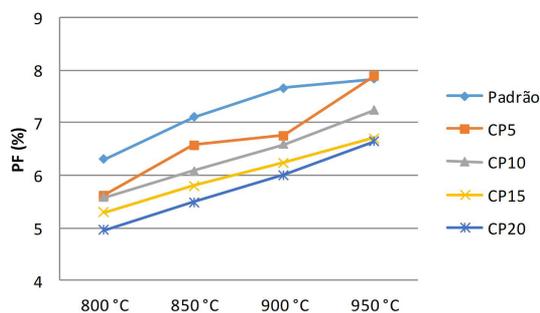


Figura 3. Perda ao Fogo (PF) das composições estudadas.

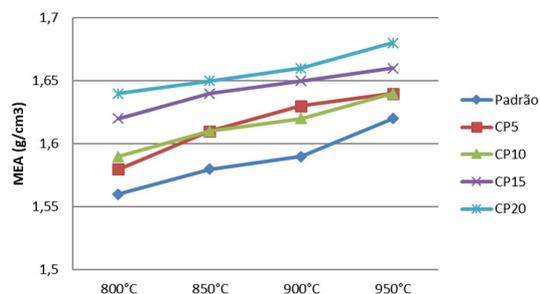


Figura 4. Massa Específica Aparente (MEA) das composições estudadas.

maior quantidade de grânulos grosseiros provenientes da escória.

Os resultados da TRF dos corpos de prova queimados apresentaram redução com o aumento do teor de escória granulada de fundição em todas as temperaturas estudadas. Estes resultados se devem pela granulometria mais grosseira da escória granulada de fundição que desta forma diminuem sensivelmente a resistência mecânica da cerâmica. A NBR 15270 [9] e 15310 [10] de 2005 exige que a TRF de queima mínima seja de 100 Kgf/cm² para telhas e 15 Kgf/cm² para tijolos. Analisando os dados encontrados na pesquisa para TRF após a queima, constatou-se que todas as formulações estão dentro dos padrões para tijolos, e apenas as formulações Padrão CP% a 950 °C estão dentro dos padrões de referência para telhas.

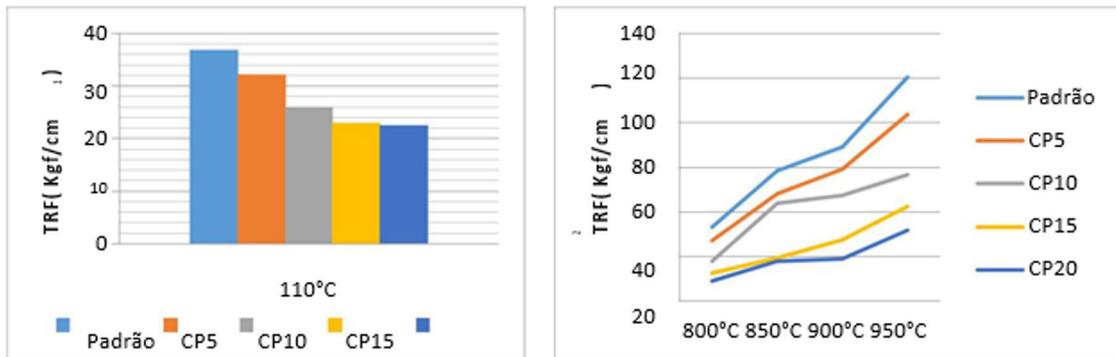


Figura 5. Tensão de Ruptura e Flexão de Secagem (110 °C) e Queima (800 °C; 850 °C; 900 °C e 950 °C).

4. Conclusão

Os resultados mostraram que o uso da escória granulada de fundição na produção de cerâmica estrutural é uma alternativa viável para a manutenção dos padrões exigidos pela cerâmica estrutural, visto que a maioria das formulações de massa básica de argilas e escória se mantiveram dentro dos parâmetros exigidos nas temperaturas estudadas. As formulações padrão e a CP5 obtiveram os melhores resultados nos ensaios tecnológicos realizados, sendo a CP5 a melhor composição de massa básica de argilas e escória a ser utilizada na cerâmica estrutural.

Outra vantagem da utilização deste resíduo na cerâmica estrutural é a contribuição com a qualidade ambiental do planeta, diminuindo os impactos ambientais que possam ser causados por este resíduo.

Referências

- [1] Ribeiro, D.V.; Morelli, M.R. Resíduos Sólidos- problema ou oportunidade? Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 2009.
- [2] Vieira, C.M.F.; Monteiro, S.N. Incorporation of solid wastes in red ceramics: na updated review. *Matéria*, v.14, n.3, p.881-905, 2009.
- [3] Wender, A.A.; Baldo, B.B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico- Parte II. *Cerâmica Industrial*, v.3, n.1, p.34-36, 1998.
- [4] Siegel, M. Processos de Fundição: generalidades, considerações gerais sobre a escolha do processo, importância relativa dos diversos processos. 10ª edição, São Paulo, Associação Brasileira de Metais- ABM, 1978.
- [5] American Foundry Society. 43rd Census of World Casting Production- 2008. *Modern Casting*, v.8.n.2, p.17-21,2009.
- [6] ABIFA- Associação Brasileira de Fundição. Resíduos de fundição: solução a caminho. *Revista Fundição & Matérias-primas*. 95ª ed. São Paulo, março, 2008.
- [7] Eriksson, K. Environmental aspects from a foundry perspective". In: *International Conference: Foundry Waste Possibilities in the Future*, p. 561-645, San Sebastian, maio, 2001.
- [8] Dondi, M. Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. *Revista Cerâmica Industrial*, v.11, n 3, p. 36-40, 2006.
- [9] ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR 15270: Blocos cerâmicos para alvenaria, especificação, Rio de Janeiro 2005.
- [10] ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR 15310: Telhas, especificação, Rio de Janeiro 2005.