

ESTUDO E AVALIAÇÃO DO USO DE ESCÓRIA GRANULADA DE FUNDIÇÃO NA PRODUÇÃO DE CERÂMICAS ESTRUTURAIS.

A. S.N.M.Teixeira¹; R.A.L.Souares^{1,3}; P.R.S.Teixeira; R.B. de Sousa²

1- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI

2- Serviço Nacional de Aprendizagem Nacional do Piauí – SENAI-PI

3– E-mail para correspondência: robertoarruda@ifpi.edu.br

RESUMO

O presente trabalho consta de uma avaliação do uso da escória de granulada de fundição em massas cerâmicas para indústrias de cerâmica vermelha, visando, além de contribuir para a qualidade ambiental do planeta, melhorar a qualidade da cerâmica estrutural produzida no estado do Piauí. 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 percentuais de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de concentração na massa cerâmica de escória granulada de fundição. 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 nas propriedades tecnológicas, dando maior qualidade as peças cerâmicas produzidas.

Palavras-Chave: *massa básica de argilas, escória granulada, reaproveitamento, cerâmica estrutural.*

INTRODUÇÃO

Com a evolução dos processos industriais e o conseqüente 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. Diante deste fato, as indústrias se tornam uma grande fonte de geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos (Ribeiro *et al*, 2009).

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 matéria-prima adequada, 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 (Vieira *et al*, 2009).

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 (Wender & Baldo, 1998).

O setor de fundição apresenta estreita relação com o nível de desenvolvimento industrial de um país (Siegel, 1978). Nesse ínterim, o Brasil ocupa a sétima posição no ranking dos países produtores de fundidos (American Foundry Society, 2009), 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 (ABIFA, 2008).

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 (Ericksson, 2001).

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.

Partindo do pressuposto de que as indústrias de fundição estão dentre as que mais eliminam resíduos, e que o setor da indústria de cerâmica estrutural no Piauí é um dos 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.

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 almofariz para a trituração até o resíduo passar na peneira de 40 mesh.

Para as caracterizações das matérias primas foram utilizados os 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. Composição química por fluorescência de raios X por energia dispersiva (FRX), onde utilizou-se o método semiquantitativo, numa atmosfera de vácuo. Análise mineralógica, que foi obtida por ensaios de DRX, onde a avaliação das fases cristalinas da argila foi dada por comparação entre os picos gerados no difratograma com cartas padrões do programa de computador JCPDF, cadastradas no ICDD (Internacional Center for Diffraction Data). 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, não sendo justificada a medição destes valores. Foi determinada calculando-se a diferença entre o limite de liquidez e limite de plasticidade.

As formulações das 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 dos 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, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, perda ao fogo e tensão de ruptura à flexão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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. Esta pode ser justificada pelo resfriamento conseguido após o processo de fundição.

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

Na Tabela 2 referente a análise química, pode-se constatar que 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. O alto teor de ferro (Fe_2O_3 - 6,17%) poderá conferir coloração vermelha após queima, além de reduzir a refratariedade da massa. O alto teor de potássio (K_2O -6,02%), que é um componente fundente, ajuda na diminuição da temperatura de sinterização e é essencial para fabricação de cerâmica de baixa porosidade.

Na escória granulada de fundição pode-se observar a predominância de SiO_2 na composição química, onde este pode ser oriundo 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 .

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

No difratograma da massa básica de argilas da Figura 1, constataram-se picos de difração de fases cristalinas referentes a Muscovita ($KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$), ao quartzo (SiO_2) e a caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) corroborando com a FRX pela presença dos óxidos silício, alumínio e potássio. Já o difratograma referente a escória granulada de fundição apresenta frações de Ferro/Silício (FeSi), Quartzo (SiO_2), $AlCaO_8Si$ e $AlMgO_4$. O resultado da análise mineralógica da escória corrobora com os resultados encontrados na fluorescência de Raios X, em que foram detectados picos referentes ao quartzo e ao óxido de ferro, óxido de Alumínio, óxido de cálcio e óxido de magnésio.

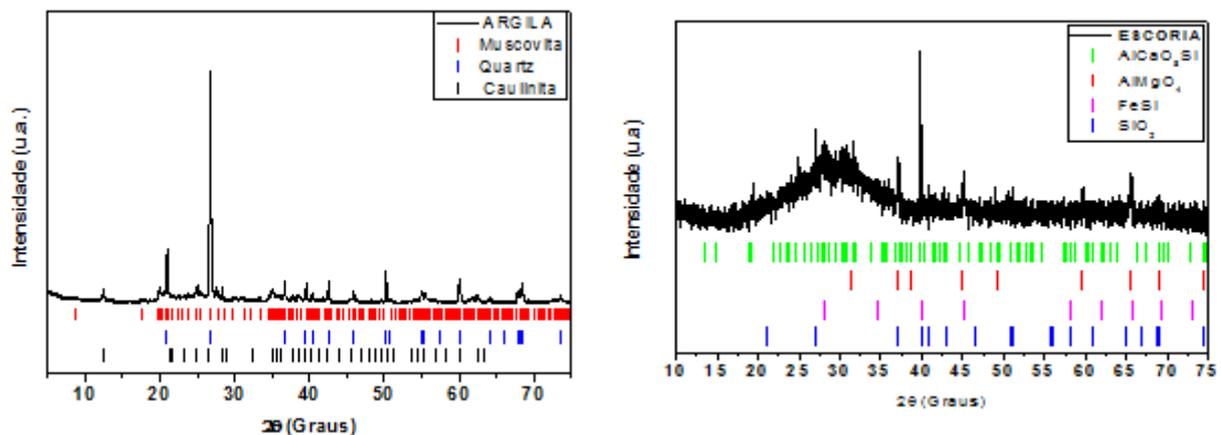


Figura 1 - Difratograma de Raios - X da Massa Básica de Argila e da Escória.

Na Tabela 3 referente a Análise de Plasticidade, pode-se verificar que de acordo com os valores obtidos para a massa básica de argilas, esta pode ser classificada como uma massa argila de plasticidade boa ($15\% < IP < 16\%$), segundo SENAI (2010). A massa básica com adição de 5% de escória também ficou dentro do parâmetro classificado como plasticidade boa.

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

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

Índice de Plasticidade			
Amostra	Límite de Liquidez (% LL)	Límite 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

Propriedades Tecnológicas

A Figura 2 representa os resultados encontrados da retração linear após secagem (RLs a 110°C) e queima (RLq) das formulações estudadas. Após as tabulações dos dados das retrações lineares, após secagem das amostras cerâmicas, verificou-se que apenas a formulação padrão ficou dentro da variação ótima, e as demais formulações ficaram dentro da variação aceitável, de acordo com

Dondi (2006), a variação ótima (5% - 8%) variação aceitável (3% - 10%). Já na Retração Linear de Queima, 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), os valores de referência para a retração linear de queima são: ótima quando menor que 1,5% e aceitável entre 1,5% e 3%. De acordo com os resultados, verifica-se que a retração de queima ficou dentro do padrão ótimo em todas as formulações e temperaturas estudadas.

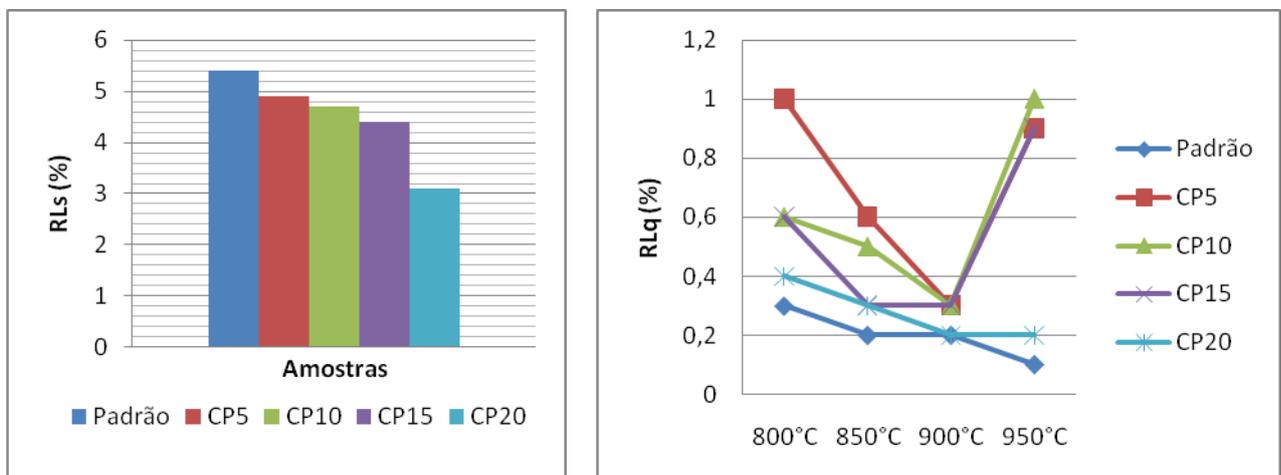


Figura 2 - Retração Linear de Secagem e Queima das formulações estudadas.

As Figuras 3 e 4 demonstram os resultados referentes a Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA). As composições com a escória granulada de fundição tiveram comportamentos semelhantes onde os dados da AA indicam uma redução 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. Observa-se também 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 vigentes regulamentadas pela ABNT para telhas e tijolos. A NBR 15270 e 15310 de 2005 indica que o índice de absorção d'água deve ser inferior a 20% para telhas, em 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.

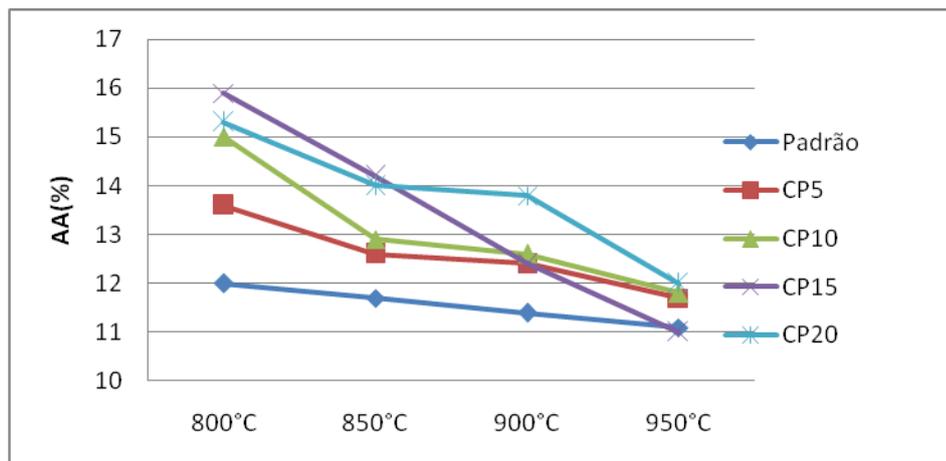


Figura 3 - Absorção de Água das formulações estudadas.

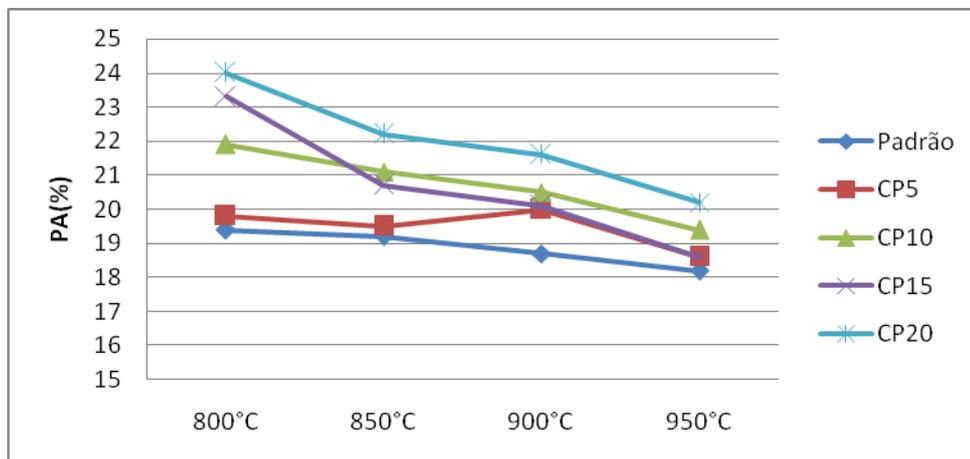


Figura 4 - Porosidade Aparente das formulações estudadas.

A perda ao Fogo (PF) representada na Figura 5 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 perda ao fogo. 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.

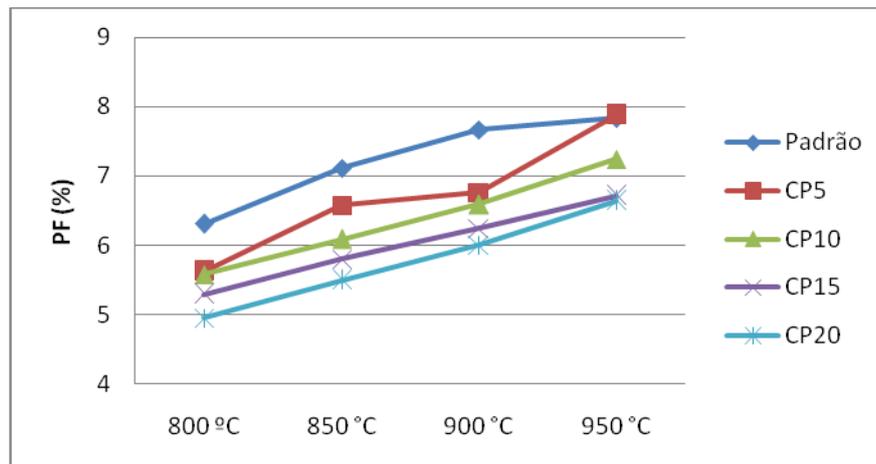


Figura 5 - Perda ao Fogo das composições estudadas

Os resultados obtidos para a Massa Específica Aparente (MEA) (Figura 6) 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.

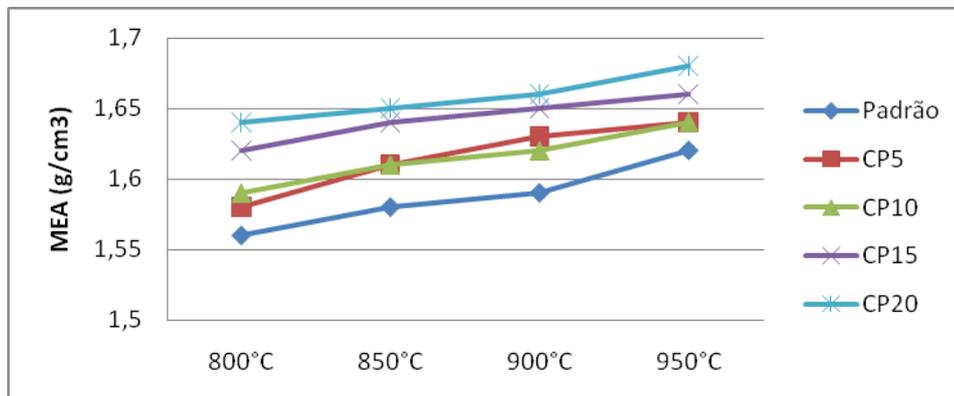


Figura 6 - Massa Específica Aparente das composições estudadas.

Na Figura 7 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 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 e 15310 de 2005 exige que a TRF de queima mínima seja de 100 Kgf/cm² para telhas e 15Kgf/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 e CP5 a 950 °C estão dentro dos padrões de referência para telhas.

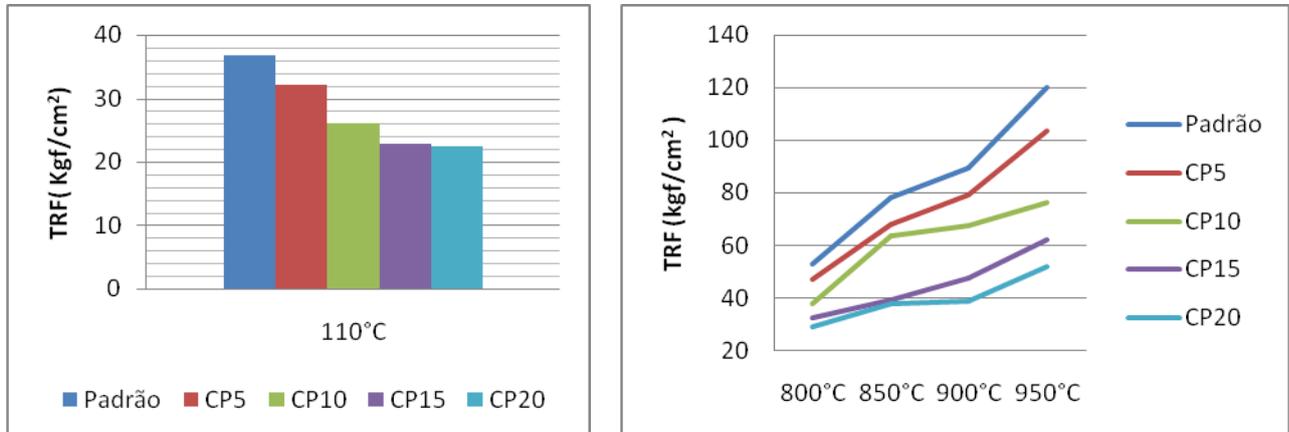


Figura 7- Tensão de Ruptura e Flexão de Secagem e Queima.

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que o uso da escória granulada de fundição na produção de cerâmica estrutural, é uma alternativa viável para uma 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

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. Resíduos de fundição: solução a caminho. **Revista Fundição & Matérias-primas**. 95ª ed. São Paulo, março, 2008.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- **NBR 15270: Blocos cerâmicos para alvenaria, especificação**, Rio de Janeiro 2005.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- **NBR 15310: Telhas, especificação**, Rio de Janeiro 2005

AMERICAN FOUNDRY SOCIETY. **43rd Census of World Casting Production – 2008**. Modern Casting, Illinois, p.17-21, dec 2009.

Dondi, M. Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. **Revista Cerâmica Industrial**, v.11 n°3, Maio/Junho, pág. 36-40, 2006

Eriksson, K. Environmental aspects from a foundry perspective. In: International Conference: Foundry waste possibilities in the future, San Sebastian, 2001. **Anais**. San Sebastian, Spain: 2001.

Ribeiro, D. V., Morelli, M. R., **Resíduos sólidos – problema ou oportunidade?** Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2009.

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional do Piauí. **Ensaio Cerâmicos** – Teresina – PI, 2010

Siegel, M. Processos de Fundição: generalidades, considerações gerais sobre a escolha do processo, importância relativa dos diversos processos. **Fundição**, 10ª ed., Associação Brasileira de Metais – ABM, 1978

Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N., **Matéria** 14, v 3, P.881-905, 2009.

Wender, A.A.; Baldo, B.B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico - Parte II. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.3, n.1-2, p.34-36, 1998.

STUDY AND EVALUATION OF THE USE OF GRANULATED SLAG FOUNDRY PRODUCTION OF STRUCTURAL CERAMICS.

This paper consists of a review of the use of granulated slag casting in ceramic masses for red ceramic, aiming industries, and contribute to the environmental quality of the planet, improve the quality of structural ceramics produced in the state of Piauí. For this, the raw clays and basic mass of granulated foundry slag was characterized by particle size analysis and mineralogical analysis, chemical analysis and analysis of plasticity. The test samples were extruded and fired at temperatures of 800 ° C, 850 ° C, 900 ° C and 950 ° C, with percentages of 0 %, 5 %, 10 %, 15% and 20% of the mass concentration ceramic granulated slag smelting. Then, technological tests of linear shrinkage, water absorption, apparent porosity, bulk density and mechanical resistance to flexion were performed. The results showed that the addition of granulated slag casting the ceramic basic mass is quite feasible, and in some cases there was an improvement in technological properties, giving higher quality ceramic parts produced.

Key words :basicmassofclay, granulatedslag, recycling, structuralceramics.