

## Utilização de Pó de Aciaria em Massa de Cerâmica Vermelha

**O.R.K. Montedo<sup>a,b\*</sup>, G.M. Reitz<sup>a,b</sup>, F.M. Bertan<sup>a,b</sup>,  
Rosaura Piccoli<sup>a,b</sup>, D. Hotza<sup>b</sup>, A.P. Novaes de Oliveira<sup>a</sup>**

*SENAI/CTCmat, Centro de Tecnologia em Materiais,  
Rua Gal Lauro Sodré, 300 C.P. 3247, Bairro Comerciário, 88802-330 Criciúma - SC*

*\* e-mail: oscar@ctc.org.br*

*<sup>a</sup>SENAI/CTCmat, Centro de Tecnologia em Materiais*

*<sup>b</sup>UFSC, PGMAT/Departamento de Engenharia Química*

**Resumo:** De acordo com a filosofia de reciclagem e utilização de rejeitos, que se baseia na possibilidade da máxima utilização destes, muitas empresas têm buscado a utilização racional de seus rejeitos, já que podem resolver um problema de ordem técnico/econômica e ambiental. O Pó de Aciaria é um dos resíduos gerados pela indústria siderúrgica que, devido à presença de óxidos de metais pesados, como o óxido de chumbo (PbO), podem ser considerados de difícil manuseio e armazenamento. Uma das formas de torná-lo inerte pode ser por meio da utilização no processo de fabricação de cerâmica vermelha, já que, devido aos altos teores de ferro, este resíduo pode ser facilmente incorporado a sua composição. De fato, os resultados mostraram que é possível adicionar até 3% em peso de pó de aciaria em massa de cerâmica vermelha, sem alteração das características e propriedades do produto final.

**Palavras-chaves:** *cerâmica vermelha, resíduos, pó de aciaria*

### 1. Introdução

Ao longo de sua existência, o homem sempre utilizou os recursos naturais do planeta e gerou resíduos com pouca ou nenhuma preocupação, já que os recursos eram abundantes e a natureza aceitava passivamente os despejos realizados. O crescimento da atividade industrial, com a conseqüente geração de maior quantidade de resíduos e poluentes, tem forçado o desenvolvimento de novas tecnologias para os processos produtivos, simultaneamente à necessidade de novas técnicas administrativas voltadas ao gerenciamento dessas atividades, com preocupação ambiental<sup>1</sup>. De acordo com a filosofia de reciclagem e utilização de rejeitos, que se baseia na possibilidade da máxima utilização destes, muitas empresas têm buscado a utilização racional de seus rejeitos, já que podem resolver um problema de ordem técnico/econômica e ambiental. Convém recordar que a fabricação de produtos pela utilização parcial ou total de rejeitos é uma prática comum em vários países<sup>2</sup>. Além disso, fabricar pro-

duto a partir de rejeitos ou incorporá-los de forma racional à fabricação de produtos existentes é uma vantagem que coloca o fabricante em uma posição fortemente competitiva no mercado, devido à questão econômica envolvida e à oportunidade de veiculação deste princípio como marketing, principalmente com relação ao aspecto ecológico.

Diferente de outros setores produtivos, o setor cerâmico utiliza, basicamente, matérias-primas naturais. O seu produto final é, em suma, o resultado da transformação de compostos argilominerais, como quartzo, feldspatos, calcários, etc. Estas matérias-primas são compostas, basicamente, de óxidos de alumínio, silício, ferro, sódio, magnésio, cálcio, dentre outros. Verificou-se, como será mostrado posteriormente, que o pó de aciaria é composto principalmente por estes mesmos óxidos, de forma que sua incorporação à massa de cerâmica estrutural é uma idéia absolutamente razoável.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo principal estudar a influência da adição do rejeito siderúrgico do tipo pó de aciaria em massa utilizada em processo produtivo de cerâmica vermelha.

## 2. Materiais e Métodos

Foram separadas quantidades suficientes de pó de aciaria e de uma massa de cerâmica vermelha esmaltada para a realização dos testes propostos em escala laboratorial. Estes materiais foram secados e caracterizados quanto à Análise Química em um Espectrofotômetro por Fluorescência de Raios-X (modelo Phillips PW2400), Tabela 1. O pó de aciaria foi, também, submetido ao analisador de tamanhos de partículas a laser (modelo Cilas 1064L) e foi encontrado um diâmetro médio de partícula de 23  $\mu\text{m}$ . Em seguida foram preparadas as formulações para teste, apresentadas na Tabela 2. Cada formulação foi, então, preparada para extrusão, obtendo-se uma massa homogênea contendo 22% em peso de água. Cada formulação foi extrudada em uma extrusora de laboratório modelo Netzsch. Em seguida, os corpos de prova obtidos foram secados em uma estufa elétrica a 60 °C por 2 h e avaliados quanto à Retração Linear de Secagem, de acordo com a NBR 13818/1997. Subseqüentemente, os corpos de prova secos foram sinterizados em uma mufla elétrica (modelo Schaly LAB 44) com taxa de aquecimento de 10 °C/min, patamar de queima de 3 h na temperatura de 970 °C e resfriamento natural. Os corpos de prova queimados foram caracterizados de acordo com a NBR 13818/1997, com respeito à Retração Linear de Queima, Absorção de Água e Resistência Mecânica à Flexão (Crômetro Gabrielli modelo CRAB 424).

## 3. Resultados e Discussão

A análise química mostra que o pó de aciaria é composto basicamente de 34,20% de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e 29,56% de óxido de zinco (ZnO). Há, também, cerca de 21,29% de material volátil (perda ao fogo), contendo substâncias tóxicas, principalmente fenóis. Em função disto, este resíduo é classificado como Resíduo Classe I – Perigoso, conforme classificação da NBR 10004/1987. Desta forma, este resíduo requer um cuidado muito especial com respeito ao transporte, acondicionamento e manuseio. Entretanto, uma vez respeitadas estas exigências, acredita-se que este resíduo possa ser incorporado a uma massa de cerâmica vermelha, já que em sua composição química há basicamente óxidos e fenóis. Os óxidos presentes no pó de aciaria tradicionalmente fazem parte da composição de um produto de cerâmica vermelha esmaltada: 2,18% de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), 2,11% de óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), 2,29% de óxido de cálcio (CaO) e 3,40% de óxido de manganês (MnO), dentre outras substâncias em menor quantidade. O PbO e o ZnO não são constituintes comuns em massas cerâmicas. No entanto, estas substâncias estão comumente

**Tabela 1.** Análise Química das amostras analisadas (% em peso).

Óxidos Constituintes	Pó de Aciaria	Massa
$\text{SiO}_2$	2,18	66,97
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,31	18,03
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	34,20	4,12
CaO	2,29	0,08
$\text{Na}_2\text{O}$	-	0,17
$\text{K}_2\text{O}$	2,11	1,42
MnO	3,40	0,03
$\text{TiO}_2$	0,07	1,27
MgO	-	0,55
$\text{P}_2\text{O}_5$	-	0,06
ZnO	29,56	-
Cl	1,08	-
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,03	-
PbO	2,64	-
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,32	-
CuO	0,30	-
SrO	0,01	-
Perda ao Fogo	21,29	7,31

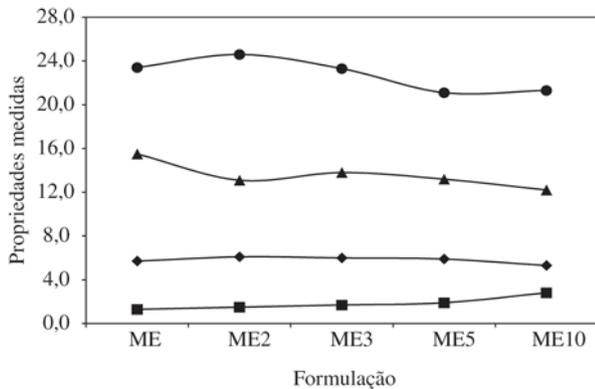
**Tabela 2.** Formulações estudadas (% em peso).

Formulação	ME	ME2	ME3	ME5	ME10
Pó de Aciaria	0	2	3	5	10
Massa	100	98	97	95	90

presentes nas composições de esmaltes para produtos de cerâmica vermelha esmaltada em percentuais significativos. Já os fenóis, presentes em uma pequena quantidade na composição final da massa, seriam carbonizados durante a queima. Por outro lado, o aumento progressivo no teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em massas cerâmicas tende a escurecê-las e isto foi verificado nos testes realizados.

Os resultados obtidos de retração linear de secagem, retração linear de queima, absorção de água e resistência mecânica das formulações estudadas são apresentados na Fig. 1.

A Fig. 1 mostra que a adição de pó de aciaria até um percentual de 10% não interfere significativamente na retração linear de secagem. Isto significa que defeitos relativos a secagem, como trincas, não são esperados. No entanto, a partir de 5% em peso de adição de pó de aciaria, foi verificado a existência de manchas na superfície (eflorescências) decorrentes do manuseio do material após a extrusão. A incidência destas manchas foi maior com a adição de 10% de pó de aciaria. Não há elementos suficientes para afirmar a causa destas manchas, o que deman-



**Figura 1.** Resultados obtidos da adição de pó de aciaria à massa de cerâmica vermelha esmaltada: ◆ Retração de secagem (%); ■ % Retração de queima (%); ▲ Absorção de água (%); ● % Resistência mecânica (N/mm<sup>2</sup>). ME: massa de cerâmica vermelha esmaltada; ME2: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 2% em peso de pó de aciaria; ME3: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 3% em peso de pó de aciaria; ME5: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 5% em peso de pó de aciaria; ME10: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 10% em peso de pó de aciaria.

daria de uma investigação mais profunda; entretanto, sabe-se que elas estão relacionadas à adição de pó de aciaria.

A Fig. 1 também mostra que a retração linear de queima aumentou progressivamente, mas não significativamente, com a adição de pó de aciaria até um percentual de 5% em peso. A partir de 10% em peso, a retração de queima aumentou significativamente, devido possivelmente à influência de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O e CaO. A retração de queima é um indicativo da progressão do processo de sinterização ocorrido no material durante a queima. A presença das substâncias Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O e CaO favorece o processo de sinterização aumentando a retração de queima. Entretanto, até 5% de adição de pó de aciaria, a sinterabilidade foi pouco afetada não causando mudanças significativas na densidade da massa padrão (ME).

Conseqüentemente pode-se dizer, então, que a adição de até 5% em peso de pó de aciaria à massa do produto esmaltado não acarreta em alteração dimensional no produto final em relação à massa padrão. Entretanto, a utilização de percentuais de pó de aciaria igual ou superior a 10% em peso, em escala industrial, poderia vir acompanhada de uma redução na temperatura de queima, o que significaria redução no consumo energético, ou de uma manutenção desta se fosse aumentada a produção do forno.

A Fig. 1 mostra que há uma tendência, já esperada, de redução da absorção de água com o aumento do percentual de adição de pó de aciaria. A absorção de água, assim

como a retração linear de queima, reflete o grau de sinterização alcançado pelo material durante a queima. Assim, os efeitos da presença dos óxidos Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O e CaO na retração linear de queima são também percebidos na absorção de água, já que ambos estão associados à evolução da sinterabilidade do material. A utilização de pó de aciaria no percentual de 10% em peso reduziu a absorção de água de 15,8 para 12%. Isto levou a uma melhoria nas propriedades finais do material. Entretanto, a manutenção da absorção de água nos valores originais permitiria, em escala industrial, uma redução da temperatura de queima ou um aumento na produção do forno, em conformidade com os resultados obtidos para a retração linear de queima. Por outro lado, é importante salientar que a utilização de percentuais de pó de aciaria iguais ou superiores a 5% em peso ficaria restrito a produtos esmaltados, onde o manchamento não seria perceptível. Outra questão importante diz respeito a cor da massa. Como o pó de aciaria possui um teor relativamente alto de óxido de ferro, sua utilização leva a um escurecimento da massa. O percentual a ser utilizado industrialmente deverá levar em consideração este escurecimento da massa para que o produto não seja descaracterizado.

A resistência mecânica à flexão é uma medida das características coesivas do material, relacionada ao grau de compactação e consistência. Ela pode ser usada, também, para avaliar a sinterabilidade de um material. A Fig. 1 mostra que até um percentual de 3% em peso não houve variação significativa na resistência mecânica à flexão do material. No entanto, a partir de 5% em peso de adição de pó de aciaria, a resistência mecânica à flexão do material diminuiu significativamente. Embora a sinterabilidade do material tenha aumentado, a adição de pó de aciaria leva, provavelmente, a uma diminuição da plasticidade do material a partir de um determinado percentual de adição, já que este resíduo não é plástico, interferindo diretamente na resistência mecânica final do material.

Os resultados mostram que é possível, para produtos esmaltados, adicionar percentuais de até 10% em peso de pó de aciaria com os seguintes ganhos:

- redução nos custos de produção, se for aumentada a produtividade (redução do ciclo de queima do produto no forno) e mantida a temperatura de queima;
- melhoria da especificação técnica do produto, se forem mantidas a produtividade e a temperatura de queima;
- redução no consumo de combustível, se for reduzida a temperatura de queima e mantida a produtividade.

#### 4. Conclusão

O pó de aciaria contribui para o aumento da sinterabilidade do material, aumentando a retração de queima e reduzindo a absorção de água. Entretanto, a resistência

mecânica foi reduzida, devida, provavelmente, à redução na plasticidade da massa.

Assim, estima-se que a adição de pó de aciaria à massa de cerâmica vermelha testada até um percentual de cerca de 3% deverá agregar ganhos nas características finais do produto, sem provocar alterações estéticas significativas no mesmo. Por outro lado, a adição de 5% de pó de aciaria levou ao aparecimento de manchas superficiais no material sinterizado. Entretanto, se o pó de aciaria for aplicado a produtos esmaltados, seria possível utilizar-se percentuais de até 10% em peso, necessitando-se, para isso, de uma comprovação prática por meio de um teste semi-industrial.

A adição de pó de aciaria à massa de produtos de cerâmica vermelha esmaltada pode ser uma alternativa econômica interessante e ecologicamente correta, se forem tomadas as devidas precauções com respeito ao transporte,

armazenamento e manuseio do mesmo, já que torna inerte certas substâncias tóxicas presentes na composição do resíduo, como o óxido de chumbo.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a colaboração da Gerdau SA, unidade de Sapucaia do Sul - RS, e da Cerâmica Cardoso SA, em Sombrio - SC, pelo apoio dispensado no desenvolvimento deste trabalho.

### **Referências**

1. Toffler, A. *A terceira onda*, 25ª edição, Editora Record, 2001.
2. Publicação Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica, *Informe ABIPTI*, Ano 22, n. 11, 2001, (<http://www.abipti.org.br>).