



# Incorporação de resíduos siderúrgicos em cerâmica vermelha

Danilo da Silva Luz  
Adriano Alves Rabelo

**Agência financiadora:** CNPq

**Palavras Chave:** Sais Solúveis; Eflorescência; Rejeitos Siderúrgicos; Cerâmica Vermelha.

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos são obtidos pela queima em diferentes tipos de fornos, constituem em valioso material de construção utilizado de forma continuada ao longo dos tempos, tanto pelas suas características como pelo seu baixo custo. Esses materiais são resistentes e práticos, e mantém as suas qualidades durante longos períodos de exposição à intempérie. Além disso, a sua porosidade confere boas propriedades de isolamento térmico e acústico. Entretanto, algumas anormalidades podem aparecer depois do processo de fabricação, já durante a utilização das peças cerâmicas, uma delas é conhecida como eflorescência. Eflorescência são depósitos salinos geralmente brancos, que se formam na superfície ou no interior das peças cerâmicas, por cristalização a partir de soluções aquosas saturadas. Essa anormalidade afeta esteticamente a peça cerâmica, causa problemas de insalubridade e acelera o processo de deterioração da peça contaminada. As escórias de: forno elétrico a arco, alto forno e pó de despoeiramento provenientes da produção do aço são resíduos sólidos que precisam de um controle e armazenamento adequado a fim de poupar o meio ambiente de contaminações. Com esse fim de gerenciamento ambiental as empresas tem um custo elevado com o descarte correto destes rejeitos. Logo, os estudos de aplicações dos mesmos em cerâmicas vermelhas torna-se mais interessante para a observação do fenômeno da eflorescência e uma solução mais prática para a utilização desses resíduos. Com o intuito de avaliar a influencia destas escórias na cerâmica vermelha, foi realizado o estudo e comparação de dados obtidos através da confecção de corpos de provas, que foram submetidos a ensaios de caracterização físicos e químicos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento desse trabalho foi à argila coletada na Cerâmica Itapuã localizada na cidade de Marabá, as escórias de forno elétrico a arco (FEA), alto forno (EAF) e pó de despoeiramento (PD) oriundas da produção do aço foram cedidas pela empresa Sinobras, localizada no distrito industrial de Marabá. Para realizar a prensagem dos corpos de prova foi utilizada a prensa hidráulica uniaxial, para sinterização foi utilizado o forno mufla. Para a captura das fotos dos corpos de prova foi utilizado um equipamento de fixação com altura padronizada. No processo de quantificação da condutividade elétrica dos sais solúveis no filtrado de solubilização foi utilizado um PHmetro, Os ânions solúveis foram determinados através de dos seguintes reagentes: fenolftaleína a 1%, ácido sulfúrico 0,025N, alaranjado de metila 0,01% e 0,1% como indicador, solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N, solução de cromato de Potássio, solução de nitrato de Prata, solução de cloreto de Bário a 10%.

Com base em estudos preliminares, e considerando também a composição química das escórias, foram desenvolvidas 4 formulações para a confecção dos corpos de prova, 3, 6, 9 e

12% de adição do resíduo. As amostras ficaram em um formato retangular tendo como medidas antes da sinterização de: 60 mm de comprimento, 20 mm de largura e 5,2 mm de altura. Após a confecção dos corpos de prova por prensagem uniaxial a 55 MPa e tratamentos térmicos de 800, 850 e 900 °C/2h, as seguintes caracterizações físicas foram avaliadas: Porosidade Aparente, Densidade Aparente, Retração Linear e Absorção de Água.

Realizou-se o ensaio de eflorescência segundo a norma ASTM C67-14<sup>(7)</sup>. Após o período de imersão, os corpos de prova foram colocados em estufa a 110 °C por 24 horas visando uma aceleração na formação da eflorescência. Findada a secagem, analisou-se visualmente se os corpos de prova possuíam manchas brancas, decorrentes dos sais solúveis, para confirmar a formação ou não de eflorescência.

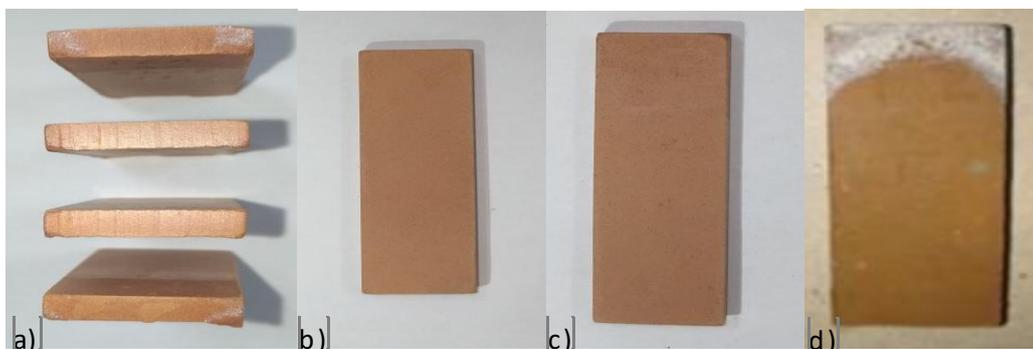


**Figura 01** - Imersão dos corpos de prova. 3º Etapa – Quantificação dos sais formados

Após a verificação das formulações que formaram eflorescências utilizou-se para a determinação dos sais solúveis e pH, um filtrado de cada formulação, após estas serem destorroadas e formado uma pasta ao dissolve-las em água destilada

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a sinterização dos corpos de prova os mesmos foram medidos novamente e submetidos ao ensaio de Arquimedes, ao calcular os resultados das características físicas, foi constatado que os corpos de prova ficaram dentro do padrão ideal. Após a realização do ensaio de eflorescência, foi possível observar que a maioria dos corpos de prova dos resíduos FEA E EAF não apresentaram eflorescência a olho nu em nenhuma das temperaturas, exceto, as formulações FEA de 3 e 12% que apresentaram um leve aparecimento de eflorescência na parte superior dos corpos de prova. Comparando esses resultados com o corpo de prova de pó de despeiramento com 25% de inserção de resíduo é notório que a formação elevada de eflorescência no mesmo, isso ocorre devido ao elevado teor de cloretos e sulfatos presente na amostra.



**Figura 2** - Corpos de prova após o ensaio de eflorescência.

A figura 2.a apresenta os corpos de prova FEA de 12, 9, 6 e 3% respectivamente, é possível notar a eflorescência formada nas amostras de 3 e 12%. As figuras 2.b e 2.c apresentam os corpos de prova EAF 12% e FEA 12% respectivamente. A figura 2.d apresenta o corpo de prova com pó de despoejamento sendo nítida a formação de eflorescência.

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados do cálculo da porcentagem de sais solúveis nos extratos de saturação de cada formulação. Notou-se que à medida que a inserção de resíduos aumentou a concentração de sais aumentou também.

**Tabela 1** – Porcentagem de sais diluídos nos extratos de saturação FEA

| Amostras (FEA %) | Sais (mg/L) | Totais | pH   | Sais (%) |
|------------------|-------------|--------|------|----------|
| 3                | 22,950      |        | 7,26 | 0,0023   |
| 6                | 23,600      |        | 7,30 | 0,0024   |
| 9                | 24,460      |        | 7,33 | 0,0024   |
| 12               | 25,100      |        | 7,40 | 0,0025   |

Fonte: Autor (2018)

**Tabela 2** – Porcentagem de sais diluídos nos extratos de saturação EAF

| Amostras (EAF %) | Sais (mg/L) | Totais | pH   | Sais (%) |
|------------------|-------------|--------|------|----------|
| 3                | 12,260      |        | 6,97 | 0,0012   |
| 6                | 12,350      |        | 7,01 | 0,0012   |
| 9                | 12,560      |        | 7,03 | 0,0013   |
| 12               | 12,740      |        | 7,04 | 0,0013   |

Fonte: Autor (2018)

**Tabela 3** – Porcentagem de sais diluídos nos extratos de saturação PD

| Amostras (PD %) | Sais (mg/L) | Totais | pH   | Sais (%) |
|-----------------|-------------|--------|------|----------|
| 0               | 14,4842     |        | 7,13 | 0,0014   |
| 25              | 197,6533    |        | 7,21 | 0,0198   |
| 35              | 211,4053    |        | 8,00 | 0,0211   |

Fonte: Autor (2018).

A concentração de sais presentes nas formulações FEA e EAF são praticamente desprezíveis. Já na formulação com pó de despoejamento é considerado devido ser um resultado mais interessante, isso acontece devido a concentração dos elementos Enxofre e Sódio na composição química do pó de despoejamento, que apesar de baixa, foi suficiente para formação de eflorescências. Em relação ao pH ambas as formulações ficaram próximas da

neutralidade, embora acima de 7, a alcalinidade demonstra a salinidade dos extratos. Devido à frequência e por serem os agentes mais comuns na formação de sais solúveis, foram determinados apenas os ânions de cada composição das formulações. Os resultados estão expressos nas tabelas 4,5 e 6.

**Tabela 4** – Porcentagem de sais diluídos nos extratos de saturação FEA

| <b>Extrato (FEA %)</b> | <b>Carbonatos (ppm)</b> | <b>Bicarbonatos (ppm)</b> | <b>Sulfatos (ppm)</b> | <b>Cloretos (ppm)</b> |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 3                      | 0                       | 0                         | 27,4                  | 10,1                  |
| 6                      | 0                       | 0                         | 33,3                  | 12,0                  |
| 9                      | 0                       | 0                         | 54,7                  | 13,4                  |
| 12                     | 0                       | 0                         | 70,3                  | 14,1                  |

**Fonte:** Autor (2018)

**Tabela 5** – Porcentagem de sais diluídos nos extratos de saturação EAF

| <b>Extrato (EAF %)</b> | <b>Carbonatos (ppm)</b> | <b>Bicarbonatos (ppm)</b> | <b>Sulfatos (ppm)</b> | <b>Cloretos (ppm)</b> |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 3                      | 0                       | 0                         | 27,4                  | 10,1                  |
| 6                      | 0                       | 0                         | 33,3                  | 12,0                  |
| 9                      | 0                       | 0                         | 54,7                  | 13,4                  |
| 12                     | 0                       | 0                         | 70,3                  | 14,1                  |

**Fonte:** Autor (2018)

**Tabela 6** – Porcentagem de sais diluídos nos extratos de saturação PD

| <b>Extrato (PD %)</b> | <b>Carbonatos (ppm)</b> | <b>Bicarbonatos (ppm)</b> | <b>Sulfatos (ppm)</b> | <b>Cloretos (ppm)</b> |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0                     | 0                       | 0                         | 7,5                   | 7,2                   |
| 25                    | 0                       | 0                         | 28,4                  | 579,2                 |
| 35                    | 0                       | 0                         | 60,4                  | 592,0                 |

**Fonte:** Autor (2018)

Ao analisar as tabelas 4,5 e 6 é notório que apenas a formulação com pó de despeiramento possui resultados mais consideráveis. Assim, mesmo a porosidade estando dentro dos padrões ideias, isso não impediu a formação de sais nessa formulação. Um fato de

importância foram os teores de sais como sódio e enxofre na composição do rejeito, que facilita a formação de sais. O pó de despoeiramento é composto de muitos metais na forma de óxidos e sulfetos, que prejudicam a densificação dos corpos de prova formando poros, isso é explicado pelo elevado resultado na quantificação de sulfatos nas formulações.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação dos resíduos siderúrgicos não influenciou de maneira significativa nas características físicas dos corpos de prova. Vale ressaltar, que a temperatura de queima não impactou de forma perceptível na formação da eflorescência. A respeito das análises química, conclui-se que quanto maior os teores de cloretos e sulfatos presentes na formulação cerâmica maior é a incidência da formação de eflorescência. Como visto na formulação com pó de despoeiramento, onde é nítido a influência dos teores destes sais em sua composição, que através dos capilares do corpo cerâmico, juntamente com a umidade presente, migram para a superfície formando a eflorescência.

Esses sais sempre estão presentes em pequenas quantidades nos materiais argilosos, e sua remoção total é extremamente difícil ou até mesmo impossível. Portanto, para evitar a eflorescência é necessário haver um estudo sobre o mecanismo de migração dos sais para que estes não se concentrem em uma única área do corpo cerâmico causando o fenômeno da eflorescência.

#### 5. REFERÊNCIAS

C. C. Ferreira, C. P. Bergmann. **Formação da eflorescência em cerâmica vermelha: fatores de influência no transporte dos íons  $SO_4^{2-}$  e  $Ca^{2+}$** . Cerâmica 57, p. 356-363, 2007.

ROCHA, A. **Incorporação de pó de despoeiramento em cerâmica vermelha**. 2013, 57 f. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Marabá-PA.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10.004. **Resíduos Sólidos- Classificação**. Segunda Edição. 2004.

SOUZA SANTOS P. **Ciência e tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgard Blucher; 1989.

American Association State Highway and Transportation Officials Standard. ASTM C67-14: **Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile**. West Conshohocken, United States