

Avaliação do comportamento mecânico de cerâmicas com resíduos sólidos após geração de eflorescências

Evaluation of the mechanical behavior of ceramics with solid waste after efflorescence generation

DOI:10.34117/bjdv7n3-814

Recebimento dos originais: 28/02/2021

Aceitação para publicação: 31/03/2021

Adriano Alves Rabelo

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais

Instituição: UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus
Universitário de Marabá, Unidade II - Faculdade de Engenharia de Materiais
Endereço: Quadra 04, Lote Especial, s/nº, Folha 17 - Nova Marabá, Marabá/PA,
68505-080

E-mail: adriano@unifesspa.edu.br

Thayane Pereira da Silva

Graduada em Engenharia de Materiais

Instituição: UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus
Universitário de Marabá, Unidade II - Faculdade de Engenharia de Materiais
Endereço: Quadra 04, Lote Especial, s/nº, Folha 17 - Nova Marabá, Marabá/PA,
68505-080

E-mail: thayane.silva@unifesspa.edu.br

Igor Oliveira Sobrinho

Graduando em Engenharia de Materiais

Instituição: UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus
Universitário de Marabá, Unidade II - Faculdade de Engenharia de Materiais
Endereço: Quadra 04, Lote Especial, s/nº, Folha 17 - Nova Marabá, Marabá/PA,
68505-080

E-mail: igor_oliveira@unifesspa.edu.br

Felipe Silva dos Santos

Graduando em Engenharia de Materiais

Instituição: UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus
Universitário de Marabá, Unidade II - Faculdade de Engenharia de Materiais
Endereço: Quadra 04, Lote Especial, s/nº, Folha 17 - Nova Marabá, Marabá/PA,
68505-080

E-mail: felipesilvaem@unifesspa.edu.br

Elias Fagury Neto

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais

Instituição: UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus
Universitário de Marabá, Unidade II - Faculdade de Engenharia de Materiais
Endereço: Quadra 04, Lote Especial, s/nº, Folha 17 - Nova Marabá, Marabá/PA,
68505-080

E-mail: fagury@unifesspa.edu.br

RESUMO

O setor siderúrgico gera e acumula uma diversidade de resíduos sólidos. O pó de despoejamento, gerado em fornos elétricos a arco de aciarias, é classificado pela ABNT como resíduo perigoso. Neste trabalho, avaliou-se a viabilidade do reaproveitamento deste resíduo em blocos cerâmicos de vedação nos teores 5, 15, e 25%p. sinterizados a 800, 850 e 900 °C/2h. Os blocos foram avaliados através de propriedades tecnológicas usando o método de Arquimedes e a formação de eflorescência foi quantificada através do software livre ImageJ, após lixívia em água durante sete e quatorze dias. Para estes dois períodos de tempo foram caracterizados o módulo de elasticidade através da técnica de excitação por impulso, e após o período final de 14 dias, o módulo de ruptura à flexão usando o teste de flexão de três pontos, em função do teor de resíduo adicionado e temperaturas. A formação de eflorescências não afetou as propriedades mecânicas.

Palavras-Chave: Pó de Despoejamento, Eflorescências, Propriedades Mecânicas.

ABSTRACT

The steel sector generates and accumulates a diversity of solid waste, which is not always reused in the process. The waste dust, generated in the steelworks electric arc furnaces, is classified as hazardous waste by Brazilian technical norm. In this work, it was evaluated the reuse of this residue for mixing in ceramic bricks with 5, 15, and 25 wt%, sintering at 800, 850 and 900 °C/2h. The ceramics were evaluated through technological properties using the Archimedes method, and the formation of efflorescence was quantified through the free, software ImageJ, after leaching in water for seven and fourteen days. For these two time periods, the Young's modulus was characterized by the impulse excitation technique and after the final period of 14 days, the flexural modulus using the three-point bending test, as a function of the additions of the residue and temperatures. The formed efflorescence did not affect the mechanical properties.

Keywords: Dedusting Powder, Efflorescence, Mechanical Properties.

1 INTRODUÇÃO

Na preparação da matéria-prima para as indústrias de cerâmica vermelha são fundamentais a observação de suas características e o beneficiamento adequado, conformação e manuseio a verde para viabilizar produtos de qualidade. Dessa forma o processo de produção dos materiais cerâmicos deve ser realizado com técnica, principalmente a etapa de secagem e queima, onde desenvolvem propriedades fundamentais para sua aplicação na construção civil.

A eflorescência constitui uma patologia frequente nos produtos cerâmicos tradicionais, cuja solução é particularmente difícil ou impossível. Sua origem está em parte associada à porosidade intrínseca e a natureza e distribuição de sais existentes no corpo cerâmico, tornando-os aptos a migrarem à superfície, resultando na forma de

eflorescência mais clássica [1, 2]. As eflorescências afetam diretamente a estética do material, favorecendo os problemas de insalubridade, além de acelerar de forma significativa a deterioração dos materiais de construção. De forma geral, materiais cerâmicos apresentam a tendência de formar, ao longo do tempo de uso, eflorescências que são depósitos salinos que se formam na superfície de materiais cerâmicos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas.

O setor siderúrgico gera uma diversidade de resíduos sólidos e a produção de aço está obrigatoriamente vinculada à acumulação de uma grande quantidade de rejeitos. Dentre estes, o pó de despoejamento, gerado em forno elétrico a arco, que pela ABNT NBR 10.004 [3], é classificado como resíduo perigoso, assim, não pode ser depositado em aterros comuns. No processo de produção de aço em aciaria elétrica, os pós podem ser classificados de duas formas, para fins de estratégias de reciclagem, de acordo com a quantidade de zinco: pós com altos teores de zinco quando acima de 15% de Zn e pós com baixos teores, quando o teor é na faixa inferior desta porcentagem. A disposição de resíduos em aterros, além de trazer ambientais, aumenta os custos do processo, devido ao transporte deste material para locais cada vez mais distantes do ponto de geração e uma solução bastante utilizada é sua adição em massas cerâmicas [4]. A inserção do pó de aciaria em cerâmicas acarreta na formação de eflorescências, devido a dissolução de sais em presença de umidade, que migram para a superfície por fenômeno de capilaridade, entretanto, o efeito pode ser minimizado utilizando-se a lavagem preliminar desse rejeito [5]. Neste trabalho, avaliou-se as propriedades mecânicas de cerâmicas com inserções do resíduo pó de despoejamento de aciaria em diferentes teores após a degradação devido a formação da eflorescência.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se argila plástica coletada em uma cerâmica situada em Marabá/PA e o pó de despoejamento, oriundo da uma empresa siderúrgica situada no distrito industrial do mesmo município. Argila e rejeito pó de despoejamento foram destorroados e peneirados malha de 100 mesh. As matérias-primas foram proporcionadas adicionando 5, 15 e 25% em massa de pó de despoejamento e conformadas por prensagem uniaxial a 55 MPa, obtendo-se corpos prismáticos acinzentados de aproximadamente 60 x 20 x 20 mm³, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Coloração dos corpos de prova a verde com diferentes teores de resíduo (%m.).



Para calcinação e sinterização foi utilizado um forno mufla da marca Marconi. A calcinação ocorreu utilizando patamares intermediários de 150, 350 e 550 °C durante 30 min, seguido de sinterizações a 800, 850 e 900°C por 2 h com taxa de aquecimento de 2 °C/min, com resfriamento à taxa do forno. Caracterizou-se retração linear de queima; densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água utilizando-se o método de Arquimedes. Os corpos de provas foram imersos água destilada verticalmente até aproximadamente 80% da altura, como apresenta a Figura 2, para a formação de eflorescência, acelerada por secagem em estufa a 105°C por 24 h. O ensaio de quantificação da eflorescência foi realizado em duas etapas, após sete e quatorze dias e secagem, respectivamente, através do software livre *ImageJ*.

Figura 2 – Amostras imersas em água (esquerda) para a formação de eflorescência (direita).



A caracterização precisa e não destrutiva dos módulos de elasticidade dinâmico foi realizada através da técnica de excitação por impulso mecânico, utilizando-se os blocos prismáticos de seção quadrada, com o sistema Sonelastic®, após os períodos

de 7 e 14 dias de lixívia em água para formação de eflorescências. O ensaio de ruptura à flexão em três pontos foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos, marca Emic, modelo DL-10.000 com velocidade de 5 mm/min após o período final de 14 dias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incorporação do resíduo da aciaria pó de despoeiramento possui alto teor de ferro na forma de Fe_2O_3 (hematita) e é majoritário, em torno de 44%, seguido de aproximadamente 32% de ZnO, o que poderia resultar em coloração avermelhada da cerâmica. Porém, a cor entre o cinza e marrom opaco permaneceu após a queima, enquanto as cerâmicas de cor creme tem maior aceitação do mercado consumidor, independentemente de suas propriedades físicas ou mecânicas. A patologia em cerâmicas tradicionais conhecida como eflorescência ocorre devido presença de sais, principalmente o sulfato de cálcio, que solubilizados pela presença de água afloram às superfícies por fenômeno de capilaridade [4].

Os resultados de propriedades tecnológicas são importantes para avaliar a qualidade física do produto. A Tabela 1 apresenta a média dos resultados tecnológicos com as devidas adições do resíduo siderúrgico, bem como o módulo de ruptura à flexão dos mesmos. Geralmente, menores valores de absorção de água correspondem ao melhor desempenho da cerâmica no que diz respeito à resistência mecânica, dureza, resistência a ácidos e ao frio.

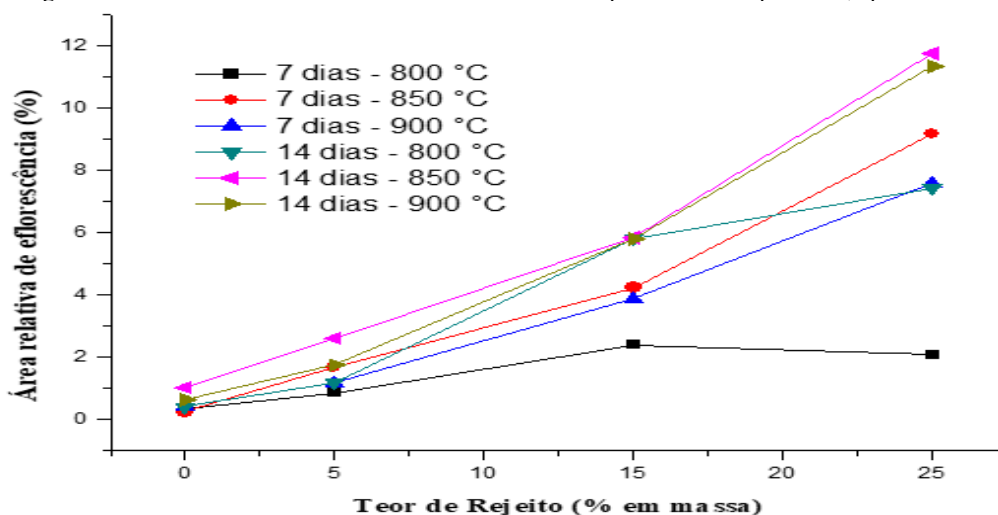
Tabela 1 – Propriedades tecnológicas e módulo de ruptura à flexão em função da temperatura de queima e teor de rejeito na massa cerâmica.

<i>T</i> (°C/2h)	<i>Teor de Rejeito</i> (%)	<i>AA</i> (%)	<i>PA</i> (%)	<i>DA</i> (%)	<i>RLq</i> (%)	<i>MoR</i> (MPa)
800	0	3,6 ± 0,4	7,5 ± 0,9	2,0 ± 0,1	1,4 ± 0,3	86,6 ± 1,1
800	5	4,1 ± 1,3	8,3 ± 2,4	2,0 ± 0,1	0,9 ± 0,3	60,7 ± 4,4
800	15	3,2 ± 0,3	6,4 ± 0,8	2,0 ± 0,1	0,8 ± 0,1	88,3 ± 4,9
800	25	2,8 ± 1,1	6,3 ± 2,1	2,1 ± 0,1	1,1 ± 0,2	90,1 ± 6,4
850	0	7,1 ± 1,3	13,3 ± 1,7	1,8 ± 0,1	1,8 ± 0,9	59,9 ± 1,6
850	5	7,1 ± 0,6	14,5 ± 0,8	1,9 ± 0,1	2,0 ± 0,4	52,7 ± 1,1
850	15	6,4 ± 1,1	12,9 ± 2,1	1,9 ± 0,1	2,0 ± 0,2	68,9 ± 1,2
850	25	6,3 ± 0,6	12,5 ± 0,9	1,9 ± 0,1	1,5 ± 0,3	69,8 ± 2,6
900	0	4,0 ± 0,7	8,2 ± 1,3	2,0 ± 0,1	1,2 ± 0,5	71,9 ± 8,1
900	5	4,1 ± 0,7	8,4 ± 1,3	2,0 ± 0,1	0,8 ± 0,3	61,1 ± 5,8
900	15	3,7 ± 0,6	7,8 ± 1,1	2,0 ± 0,1	0,7 ± 0,2	73,9 ± 2,8
900	25	3,1 ± 1,0	6,7 ± 2,0	2,1 ± 0,1	0,8 ± 0,2	89,5 ± 1,1

A retração linear de queima diz respeito à mudança dimensional do material durante a sinterização com eliminação de poros, considerando o comportamento isotrópico. Assim, observa-se que as formulações de 5% e 15 m.% a 800°C e as de 5%, 15% e 25% a 900°C, apresentaram menores retração de queima, com dimensões dos corpos de prova apresentando valores menores que o esperado proporcionalmente as temperaturas de queima. Isso também pode ser explicado pelo excesso do resíduo adicionado. As formulações de 0 e 5% a 850°C apresentaram maior valor em absorção de água, proporcional a porosidade aparente, ou seja, proporcional a porosidade aberta dos corpos de prova. O módulo de ruptura à flexão determinado após 14 dias de permanência imersos, com secagem após o sétimo dia e no tempo final, indicam que a resistência do material foi inversamente proporcional a sua porosidade.

Na Figura 3 pode-se verificar a quantificação da eflorescência, com maior formação de para maiores teores do resíduo e maior tempo de imersão em água destilada. Entretanto, a temperatura não teve efeito de inibir a formação de eflorescência devido à redução de porosidade esperada menor linearmente para temperaturas maiores. O comportamento inverso para 25% do resíduo após 14 dias com queima a 850 °C, com eflorescência ligeiramente maior que a 900 °C. Como discutido, os corpos de prova apresentaram maior porosidade aparente a 850 °C, portanto, a capilaridade dos sais solúveis para migrarem a superfície foi maior.

Figura 3 – Área observada relativa de eflorescência formada para as três temperaturas, após 7 e 14 dias.

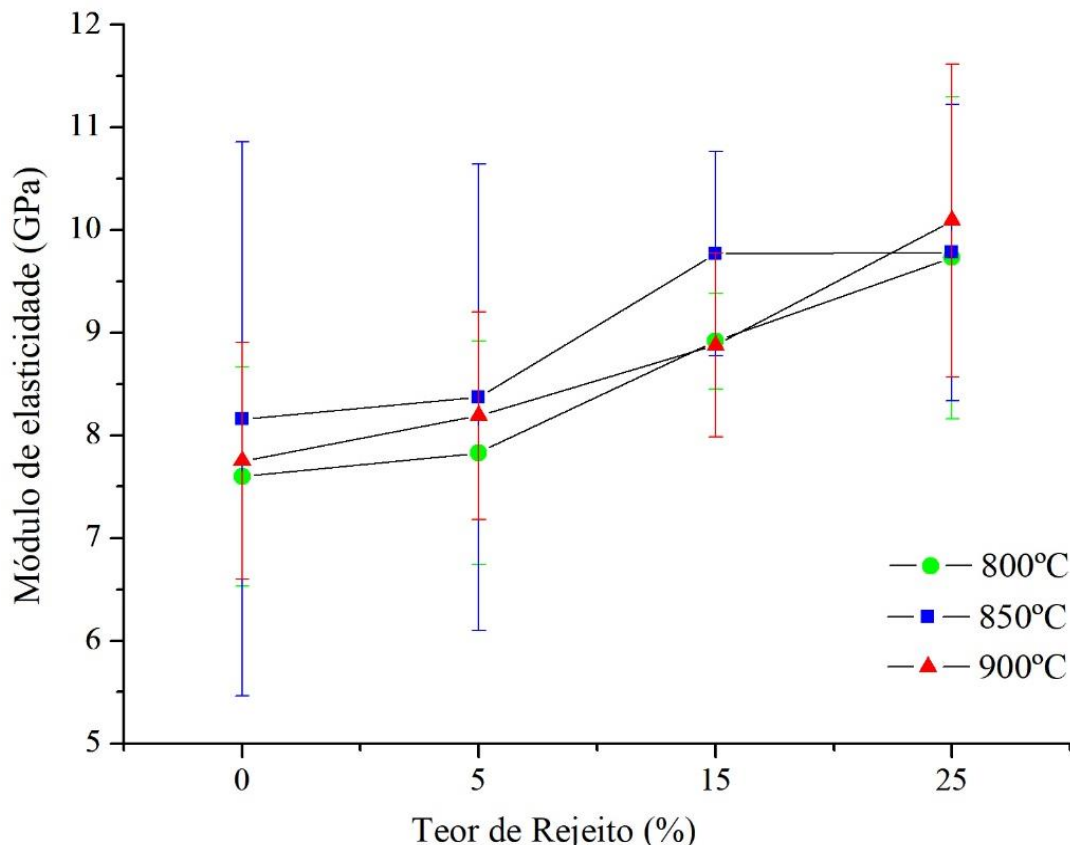


O módulo de elasticidade dinâmico traduz a rigidez do material, ou seja, a tensão máxima que o material deve suportar no regime elástico e que dependem da sua composição química, mas em tese são pouco influenciados pela microestrutura e

presença de defeitos, como poros e trincas. É uma propriedade intrínseca do material e parâmetro importante para engenharia e aplicação de materiais, visto que estão ligados à descrição de várias outras propriedades mecânicas como, por exemplo: a tensão de escoamento; tensão de ruptura; variação da temperatura crítica para propagação de trincas sob ação de choque térmico. A Figura 4 apresenta a média dos resultados de módulo de elasticidade dinâmico obtidos para cada formulação e temperatura de sinterização.

Observa-se que, mesmo que o desvio tenha sido grande devido a quantidade pequena de amostras analisadas, o módulo de elasticidade dinâmico dos blocos cerâmicos tende a aumentar com maiores teores do resíduo adicionado à massa cerâmica, para as três temperaturas de queima, mostrando que a formação de eflorescências para as condições analisadas de 7 e 14 dias (Fig. 3) não apresentaram alterações significativas do módulo de elasticidade da cerâmica.

Figura 4 – Módulo de elasticidade para as diferentes formulações e temperaturas.



4 CONCLUSÕES

A formação de eflorescências não afetou as propriedades mecânicas avaliadas de modo apreciável. Por outro lado, a incorporação do resíduo de aciaria elétrica *pó de*

despoeiramento na formulação para blocos cerâmicos proporcionou um ganho nas propriedades mecânicas para os teores de 15 e 25 % em massa, após a queima com patamares intermediários de 150, 350 e 550 °C/30 min e patamar final a 800, 850 ou 900°C por 2 h. A formação de eflorescência também aumenta proporcionalmente ao teor do resíduo incorporado à massa cerâmica.

AGRADECIMENTOS

Thayane Pereira da Silva e Igor Oliveira Sobrinho agradecem a bolsa de iniciação científica PIBIC, PNAES/UNIFESSPA, FAPESPA e CNPq, respectivamente. Adriano Alves Rabelo agradece ao apoio financeiro do CNPq (Proc. Nº 432962/2016-6).

REFERÊNCIAS

- [1] FERREIRA, C.C.; BERGMANN, C.P. 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.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 9917, Agregados para concreto-Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis. 2009.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10.004. Resíduos Sólidos-Classificação. Segunda Edição. 2004.
- [4] ROCHA, A. Incorporação de pó de despoeiramento em cerâmica vermelha., 57 f. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Marabá-PA, 2013.
- [5] COSTA, F.G. Avaliação de eflorescência em cerâmica vermelha com adições do resíduo siderúrgico pó de despoeiramento antes e após processo de lavagem. 73 f. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá-PA, 2017.